المجلد 26 ـ العددان 4/3
مارس/ إبريل 2010

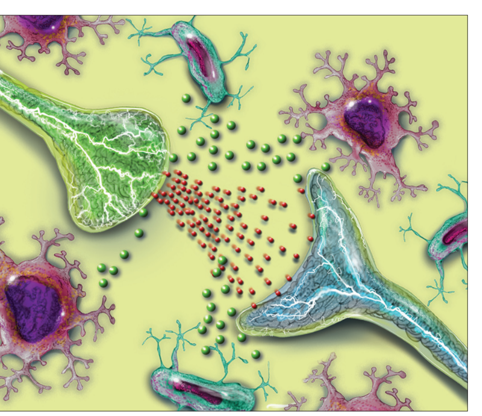
SCIENTIFIC AMERICAN
March / April 2010

مجلة العلوم

الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهريا في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي



شركات التقانة الحيوية
تخطط لتحقيق زراعة مستدامة



متهمون جدد في إحداث الآلام المزمنة

الإنسان النياندرتالي

عاش قبل نحو 28 ألف سنة واستوطن أراضي جبل طارق على البحر الأبيض المتوسط

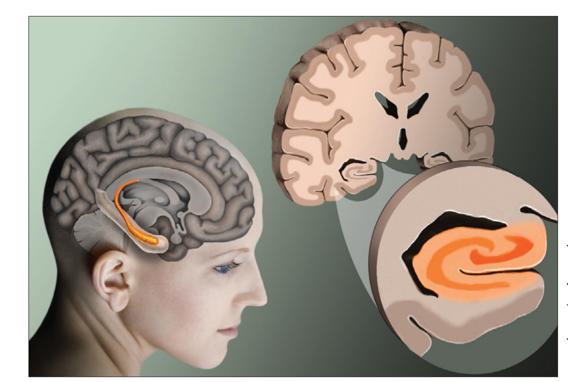
العددان 264/263 ـ السعر: 1.500 دينار كويتي



خطة للتغلب على الأمراض
المدارية المهملة



معالجة مشكلة النتروجين العالمية



المحافظة على خلايا الدماغ الجديدة

المجلد 26 ـ العددان 4/3
مجلة العلوم
مارس/ إبريل 2010



الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهريا في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

المجلد 26 ـ العددان 4/3 (2010)
264/263

شارك في هذا العدد

علي الأمير أحمد
كمال الدين البتانوني
ابتسام حمد
عدنان الحموي
جان خوري
حمزة روماني
غدير زيزفون
قاسم السارة
سمير شمعون
عبدالقادر عابد
فؤاد العجل
إياد غانم
عصام قاسم
أحمد الكفراوي
سعيد محفوظ
خليل المعري
حاتم النجدي

مراسلات التحرير توجه إلى : **رئيس تحرير مجلة العلوم**
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي
شارع أحمد الجابر، الشرق ـ الكويت
ص.ب : 20856 الصفاة، الكويت 13069
العنوان الإلكتروني: oloom@kfas.org.kw ـ موقع الويب: www.kfas.org
هاتف : 22428186 (965+) ـ فاكس : 22403895 (965+)

الإعلانات في الوطن العربي يتفق عليها مع **قسم الإعلانات** بالمجلة.

Advertising correspondence from outside the Arab World *should be addressed to*
SCIENTIFIC AMERICAN 415, Madison Avenue, New York, NY 10017 - 1111
Or to *MAJALLAT AL-OLOOM, P.O. Box 20856 Safat, Kuwait 13069 - Fax. (+965) 22403895*

سعر العدد

الأردن	1.800	دينار	السودان	٭	جنيه	الكويت	1.500	دينار	Britain	£	4
الإمارات	20	درهم	سوريا	100	ليرة	لبنان	٭	ليرة	Cyprus	Cl	2.5
البحرين	1.800	دينار	الصومال	٭	شلن	ليبيا	٭	دينار	France	€	6
تونس	2.5	دينار	العراق	ـ	ـ	مصر	7	جنيه	Greece	€	6
الجزائر	٭	دينار	عُمان	2	ريال	المغرب	30	درهم	Italy	€	6
جيبوتي	٭	فرنك	فلسطين	1.25	$	موريتانيا	٭	أوقية	U.S.A.	$	6
السعودية	20	ريال	قطر	20	ريال	اليمن	250	ريال	Germany	€	6

[٭ ما يعادل بالعملة المحلية دولارا أمريكيا ونصف الدولار (USA $ 1.5)]

الاشتراكات

ترسل الطلبات إلى **قسم الاشتراكات** بالمجلة.

	بالدينار الكويتي	بالدولار الأمريكي
* للطلبة وللعاملين في سلك التدريس و/أو البحث العلمي	12	45
* للأفراد	16	56
* للمؤسسات	32	112

ملاحظة : تحول قيمة الاشتراك بشيك مسحوب على أحد البنوك في **دولة الكويت**.

مراكز توزيع *مجلة العلوم* في الأقطار العربية:

• الإمارات: شركة الإمارات للطباعة والنشر والتوزيع ـ أبوظبي/ دار الحكمة ـ دبي • البحرين: الشركة العربية للوكالات والتوزيع ـ المنامة • تونس: الشركة التونسية للصحافة ـ تونس • السعودية: تهامة للتوزيع ـ جدة ـ الرياض ـ الدمام • سوريا: المؤسسة العربية السورية لتوزيع المطبوعات ـ دمشق • عُمان: محلات الثلاث نجوم ـ مسقط • فلسطين: وكالة الشرق الأوسط للتوزيع ـ القدس • قطر: دار الثقافة للطباعة والصحافة والنشر والتوزيع ـ الدوحة • الكويت: الشركة المتحدة لتوزيع الصحف والمطبوعات ـ الكويت • لبنان: الشركة اللبنانية لتوزيع الصحف والمطبوعات ـ بيروت • مصر: الأهرام للتوزيع ـ القاهرة • المغرب: الشركة الشريفية للتوزيع والصحافة ـ الدار البيضاء • اليمن: الدار العربية للنشر والتوزيع ـ صنعاء.

يمكن تزويد المشتركين في **العلوم** بنسخة مجانية من **قرص CD** يتضمن خلاصات مقالات هذه المجلة منذ نشأتها عام **1986** والكلمات الدالة عليها. ولتشغيل هذا القرص في جهاز **مُدعم بالعربية**، يرجى اتباع الخطوات التالية:

1- اختر Settings من start ثم اختر Control Panel
2- اختر Regional and Language Options
3- اختر Arabic من قائمة Standards and formats ثم اضغط OK

بزيارة الموقع **www.kfas.org** يمكن الاطلاع على صفحة محتويات الإصدار الأخير لـ **العلوم** باللغتين العربية والإنكليزية، وعلى معلومات حول الاشتراكات في هذه المجلة.

المجلد 26 ـ العددان 4/3
مارس/ إبريل 2010

ترجمة أو مراجعة





«***مجلة العلوم***» تصدر شهريًا في الكويت منذ عام 1986 عن «**مؤسسة الكويت للتقدم العلمي**» وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام، يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت، وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والحضاري في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. و«مجلة العلوم» هي في ثلثي محتوياتها ترجمة لـ«***ساينتفيك أمريكان***» التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم. وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارئ غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقانية، وتوفير معرفة شمولية للقارئ المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر «***ساينتفيك أمريكان***» بثماني عشرة لغة عالمية، وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها القيّم للصور والرسوم الملونة والجداول.

أصل الحياة على الأرض(*)

أدلة جديدة تلمّح إلى كيفية نشوء أولى المتعضيات[1] (الكائنات الحية) من مادة غير حية.

<A. ريكاردو> ـ <J. W. زوستاك>

إن كل خلية حية، بما فيها أبسط أنواع البكتيريا، تزخر بآلات جزيئية غريبة يحسدها عليها أي عالم تقانات نانوية. ومع اهتزازها أو التفافها أو زحفها المتواصل في أرجاء الخلية، تقطع هذه الآلات، وتلصق وتنسخ جزيئات جينية، وتقوم بنقل المغذّيات من مكان إلى آخر أو تحولها إلى طاقة، وتبني أو تصلح الأغشية الخلوية، وتنقل الرسائل الميكانيكية والكيميائية والكهربائية – والقائمة تطول وتطول؛ كما أن اكتشافات جديدة تضاف دائما إلى هذه القائمة.

إنه لمن المستحيل تقريبا فهم الكيفية التي يمكن لآلات الخلية، وهي في الغالب **حفازات** catalysts أساسها بروتيني تدعى **الإنزيمات** enzymes، أن تكون قد نشأت تلقائيا عندما نشأت الحياة للمرة الأولى من مادة غير حية، وذلك منذ نحو 3.7 بليون سنة. وللتأكيد، فإنه تحت الشروط الصحيحة، تتشكل بعض **قوالب** blocks بناء البروتينات، وهي **الأحماض الأمينية**[4]، بسهولة انطلاقا من كيماويات أبسط، وذلك كما اكتشف <L .S. ميلر> و <C .H. يوري> [من جامعة شيكاغو] في تجاربهم الرائدة التي أجرياها في خمسينات القرن الماضي. ومع هذا، فإن الانتقال من الأحماض الأمينية إلى تشكل البروتينات والإنزيمات مسألة مختلفة تماما.

إن العملية الخلوية التي تؤدي إلى صناعة البروتين تستخدم إنزيمات معقدة تقوم بفصل جديلتي حلزون **الدنا** DNA المضاعف، وذلك من أجل استخلاص المعلومات المحتواة في الجينات (وهي البصمة الخاصة بالبروتينات) وترجمتها لتعطي المنتج النهائي. لذلك، فإن شرحا لكيفية بدء الحياة يستلزم التعامل مع مفارقة جدية وهي: إنه من أجل تصنيع البروتينات يتطلب الأمر وجود البروتينات نفسها إضافة إلى المعلومات المخزنة في الدنا.

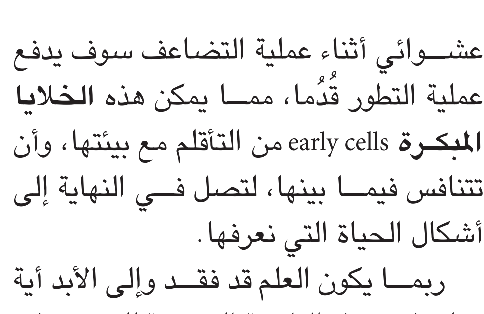
ومن جهة أخرى، فإن هذه المفارقة ستختفي في حال أن المتعضيات الأولى لم تتطلب بروتينات على الإطلاق. وتوحي تجارب حديثة أنه كان ممكنا لجزيئات جينية شبيهة بالدنا أو بالجزيء الشديد القرابة له وهو الرنا أن تتشكل تلقائيا. ولأنه يمكن لهذه الجزيئات أن تلتف على نفسها لتأخذ أشكالا مختلفة وأن تقوم بدور حفازات بدائية، فمن الممكن أنها كانت قد أصبحت قادرة على أن تنسخ ذواتها – أن تتكاثر – من دون الحاجة إلى وجود البروتينات. ومن الممكن أن أكثر أشكال الحياة بدائية كانت عبارة عن أغشية بسيطة مؤلفة من أحماض دسمة – وهي أيضا بنىً معروفٌ عنها أنها تشكلت تلقائيا – ضمت في داخلها الماء، وهذه الجزيئات الجينية ذاتية التضاعف. وهذه المادة الجينية تكوّد السمات التي ينقلها جيلٌ إلى الجيل الذي يليه، تماما كما يفعل الدنا لدى جميع الأشياء الحية في يومنا هذا. وإن ظهور طفرات بالصدفة وبشكل

مفاهيم مفتاحية

- وجد الباحثون طريقة قد يكون الجزيء الجيني الرنا[2] RNA تشكل من خلالها ابتداءً من كيماويات وجدت على الأرض المتشكلة حديثا.
- دعمت دراسات أخرى النظرية التي تقول إنه يمكن لخلايا بدائية تحوي جزيئات تشبه الرنا أن تتكون تلقائيا وأن تتكاثر وتتطور معطية بذلك للحياة نشأة.
- يهدف العلماء الآن إلى تكوين متعضيات صنعية ذاتية[3] التضاعف في المختبر – وبشكل أساسي يهدفون إلى إعطاء الحياة بداية جديدة من أجل فهم الآلية التي يمكن أن تكون قد نشأت عنها لأول مرة.

محررو ساينتفيك أمريكان

(*) ORIGIN OF LIFE ON EARTH
(١) organisms
(٢) the genetic molecule RNA
(٣) self-replicating artificial organisms
(٤) the amino acids



عشوائي أثناء عملية التضاعف سوف يدفع عملية التطور قُدُما، مما يمكن هذه **الخلايا المبكرة** early cells من التأقلم مع بيئتها، وأن تتنافس فيما بينها، لتصل في النهاية إلى أشكال الحياة التي نعرفها.

ربما يكون العلم قد فقد وإلى الأبد أية معلومات حول الطبيعة الحقيقية للمتعضيات الأولى والظروف الدقيقة لنشوء الحياة. ولكن باستطاعة البحث العلمي أن يساعدنا على فهم ما هو ممكن حول المتعضيات الأولى ونشأة الحياة. والتحدي الأساسي هو في بناء متعضية صنعية يمكن لها أن تتكاثر وأن تتطور. إن تكوين حياة من جديد سيساعدنا، بالتأكيد، على فهم كيف يمكن أن تبدأ الحياة، وما هو احتمال أن توجد في عوالم أخرى، وفي نهاية المطاف، معرفة ماهية الحياة.



كان لا بد أن تبدأ في مكان ما[*]

إن واحدا من أكثر الأسرار المحيطة بنشأة الحياة صعوبة وإثارة هو الكيفية التي يمكن للمادة الجينية أن تكون قد تشكلت فيها ابتداءً من جزيئات أبسط كانت موجودة على الأرض الحديثة التشكل. وإذا ما أخذنا في الاعتبار الأدوار التي يتمتع بها الرنا في الخلايا الحالية؛ يبدو على الأرجح أن الرنا ظهر قبل الدنا. وعندما تصنع الخلايا الحالية البروتينات، فإنها تنسخ الجينات أولا من الدنا لتصنع منها الرنا وتستخدمه بعد ذلك **كبصمة** blueprint من أجل صنع البروتينات. ومن الممكن أن تكون المرحلة الأخيرة هذه قد وجدت في البداية بشكل مستقل، وأن الدنا كان قد ظهر لاحقا كشكل أكثر ديمومة من أجل تخزين المعلومات، وذلك بفضل ثباتيته الكيميائية المتفوقة.

ولدى الباحثين سبب إضافي للاعتقاد أن الرنا ظهر قبل الدنا. إن الشكل الرنوي للإنزيمات، ويدعى **الإنزيمات الريبية (ريبوزيمات)**[1] ribozymes، يؤدي أيضا دورا محوريا في الخلايا الحديثة. إن **البنى** structures التي تترجم الرنا إلى بروتين هي آلات هجينة رنوية، وإن الرنا فيها هو الذي يقوم **بالعمل التحفيزي**[2]. وبذلك، يبدو أن كلا من خلايانا تحمل في ريبوزوماتها دليلا **أحفوريا** fossil على وجود **عالَم رنوي بدائي**[3].

لذلك، ركز الكثير من الأبحاث على فهم المنشأ المحتمل للرنا. إن الجزيئات الجينية كالدنا والرنا هي **بوليميرات** polymers[4] مصنوعة من قوالب بناء تدعى **النيوكليوتيدات** nucleotides. وبدورها، تمتلك النيوكليوتيدات مكونات رئيسية ثلاثة: سكر وفوسفات وأساس نووي. وتأتي الأسس النووية بأشكال أربعة وتشكل الأبجدية التي يكوّد من خلالها البوليمر المعلومات. وفي نيوكليوتيد الدنا يمكن للأساس النووي nucleobase أن يكون: A، G، C أو T، وهي للدلالة على الأدنين والگوانين والسيتوزين والثايمين؛

(*) Got to start Somewhere

(١) ج: ريبوزيم ribozyme: شدفة رنا لها القدرة الذاتية على الانكسار من الجزيء الكبير وتكوين روابط مشتركة عند نهايتيها لتكوين حلقة.

(٢) catalytic work

(٣) a primordial RNA world

(٤) لدائن؛ أي صفوف من جزيئات أصغر. (التحرير)

وفي أبجدية الرنا يحل الحرف U دلالة على اليوراسيل، محل الحرف T (*انظر المؤطر في هاتين الصفحتين*). إن الأسس النووية هي مركبات غنية بالنتروجين يرتبط بعضها ببعض وفقا لقانون بسيط: A تقترن بـ U (أو T)، وG تقترن بـ C. تشكل هذه الأزواج القاعدية درجات سُلَّم الدنا المفتول – الحلزون المزدوج المألوف – وازدواجها المميز هذا أساسيٌّ من أجل نسخ صحيح وأمين للمعلومات مما يسمح بتكاثر الخلية. وفي الوقت نفسه، تشكل جزيئات السكر والفوسفات الهيكل الأساسي لكل جديلة من الدنا أو الرنا.

يمكن للأسس النووية أن تتجمع تلقائيا، وذلك في سلسلة من الخطوات، ابتداءً من السيانيد والأسيتيلين والماء – وهي جزيئات كانت بالتأكيد موجودة في المزيج الكيميائي البدائي. كذلك من السهل تشكل السكريات ابتداء من مواد ابتدائية. ومن المعروف منذ أكثر من 100 عام أنه يمكن الحصول على خلائط من طرز متعددة من جزيئات السكر عن طريق تسخين محلول قلوي (قاعدي) من **الفورمالدهايد** formaldehyde، وهو أيضا لا بد أنه كان متوافرا على سطح الكوكب الحديث التشكل. ومع ذلك، فإن المشكلة هي كيف يمكن الحصول على النوع «الصحيح» من السكر-الريبوز، في حالة الرنا – من أجل تصنيع النيوكليوتيدات. يمكن للريبوز، إضافة إلى ثلاثة أنواع من السكر الشديدة القرابة، أن تتشكل من تفاعل نوعين أكثر بساطة من السكر يضمان – على التتالي – ذرتين وثلاث ذرات كربون. ومع ذلك، فإن مقدرة سكر الريبوز على التشكل بهذه الطريقة لا تحل مسألة الكيفية التي أدت إلى توفره بكثرة على سطح الأرض الحديثة التشكل، حيث يتبين أن الريبوز غير ثابت ويتحطم بسرعة وذلك حتى في محلول قلوي خفيف. وفي الماضي، قادت هذه الملاحظة العديد من الباحثين إلى الاستنتاج أنه من غير الممكن أن تكون الجزيئات الجينية الأُولى

[قوالب البناء]

الجزيئات الجينية الأولى(*)

إن الكينونات الأولى على سطح الأرض والقادرة على التطور والتكاثر حملت معلوماتها الجينية على الأغلب في هيئة جزيء شبيه بالرنا، وهو قريب جدا من الدنا. وإن كلا من الدنا والرنا هي سلاسل من وحدات تدعى النيوكليوتيدات (*مشار إليها في اليمين*)، لذلك فالسؤال الرئيسي هو كيف أمكن للنيوكليوتيدات أن تنشأ للمرة الأولى من كيميائيات أبسط. ويمكن لكل من مكونات النيوكليوتيد الثلاث – الأساس النووي والفوسفات والسكر – أن يتشكل تلقائيا. ولكنها لا ترتبط تلقائيا ببعضها بعضا بالشكل الصحيح (*انظر المركز*). ولكن تجارب جديدة أظهرت أن طرازين على الأقل من نيوكليوتيدات الرنا، تلك التي تحوي أسسا نووية nucleobases تدعى C و U، يمكن أن تكون قد نشأت من خلال طريق مختلف (*أقصى اليسار*). (في المتعضيات الحديثة، تتكون الأسس النووية للرنا من أربعة أنواع هي A و C و G و U، وهي الأحرف الأبجدية الجينية).

ما هي الحياة؟(**)

لقد جهد الباحثون طويلا لإيجاد تعريف «للحياة» بطريقة شاملة بما يكفي لتضم الأشكال غير المكتشفة منها بعد. ونورد هنا بعضا من العديد من التعاريف المقترحة:

1- اقترح الفيزيائي <E. شرودنگر> أن صفة معرِّفة للأنظمة الحية هي أنها تتجمع ذاتيا مخالفة بذلك نزوع الطبيعة إلى الفوضى، أو ما يدعى الإنتروبية entropy.

2- إن التعريف الذي صاغه الكيميائي <G. جويس> والذي تبنته وكالة الفضاء الأمريكية ناسا، هو أن الحياة هي «نظام كيميائي قادر على الاستمرار ذاتيا وعلى التطور وفقا للتطور الداروينى Darwinian evolution.»

3- إن التعريف السيبراني cybernetic الذي صاغه <B. كورزينيوسكي> ينص على أن الحياة هي شبكة من آليات التغذية الراجعة feedback mechanisms.

قد ضمت الريبوز كجزء من تركيبها. ولكن أحدنا (<ريكاردو>) مع آخرين اكتشفوا طرائق يمكن من خلالها جعل سكر الريبوز ثابتا ومستقرا.

إن جزء الفوسفات من النيوكليوتيدات يقدم أحجية أخرى مثيرة للفضول والاهتمام. فالفوسفور – وهو العنصر المركزي في مجموعة الفوسفات – متوافر بغزارة في قشرة الأرض، حيث يفترض أن الحياة كانت قد نشأت. لذا، فإنه من غير الواضح كيف يمكن أن تكون الفوسفات قد وصلت إلى المزيج ما قبل الحيوي الذي هيّأ لنشوء الحياة. ويمكن لدرجات الحرارة العالية لفوهات البراكين أن تحوّل مواد معدنية محتوية على الفوسفات إلى أشكال من الفوسفات المنحلة، ولكن الكميات التي تتشكل، على الأقل قرب البراكين الحديثة،

(*) First Genetic Molecules
(**) What is Life?

نيوكليوتيدات فاشلة

كان الكيميائيون لفترة طويلة غير قادرين على إيجاد طريق أمكن من خلاله للأسس النووية والفوسفات والريبوز (السكر الذي يدخل في تكوين الرنا) أن تتحد بشكل طبيعي لتشكل كميات من نيوكليوتيدات الرنا.

كيماويات وجدت قبل الخلايا الحية الأولى

أساس نووي

سكر

فوسفات

طريق جديد

بوجود الفوسفات، فإن المواد الأولية للأسس النووية وسكر الريبوز تشكل أولا مركب «2-أمينوأوكزازول»، وهو جزيء يحوي جزءا من السكر وجزءا من أحد الأسس النووية C أو U. وتعطي التفاعلات اللاحقة وحدة كاملة من الريبوز-الأساس ribose-base وبعد ذلك نيوكليوتيد كامل. كما تنتج التفاعلات ائتلافات «خاطئة» للجزيئات الأصلية، ولكن بعد التعرض للأشعة فوق البنفسجية تنجو فقط الأشكال الصحيحة من هذه الائتلافات وهي النيوكليوتيدات.

كيماويات وجدت قبل الخلايا الحية الأولى

2-أمينوأوكزازول

فوسفات

أرابينو أوكزازولين

سكر

فوسفات

نيوكليوتيد رنا

أكسجين

كربون

نتروجين

فسفور

صغيرة. وهناك إمكانية توفر مصدر مختلف لمركبات الفوسفور يتمثل بمادة **شريبرسيت**[١] schreibersite، وهي معدن يوجد عموما في نيازك معينة.

في عام 2005 اكتشف كل من <D. لوريتا> و <M. پاسيك> [من جامعة أريزونا] أن تآكل (صدأ) الشريبرسيت في الماء يحرر جزاءه الفوسفوري. وهذا المسار يبدو واعدا؛ لأنه يحرر الفوسفور في شكل أكثر انحلالا بكثير في الماء من الفوسفات، وأكثر تفاعلية مع المركبات العضوية (ذات الأساس الكربوني).

▼ **في الشهر 2009/5 أجاب <J. سذرلاند> ومعاونوه [من جامعة مانشستر في إنكلترا] عن سؤال في مجال الكيمياء السابقة لنشوء الحياة بقي من دون إجابة لفترة طويلة، وذلك من خلال إثباتهم أنه بإمكان النيوكليوتيدات أن تتشكل من تفاعلات كيميائية تلقائية (يبدو <سذرلاند> في الصورة في الأسفل (*الثاني من اليسار*) مع أفراد من مختبره).**

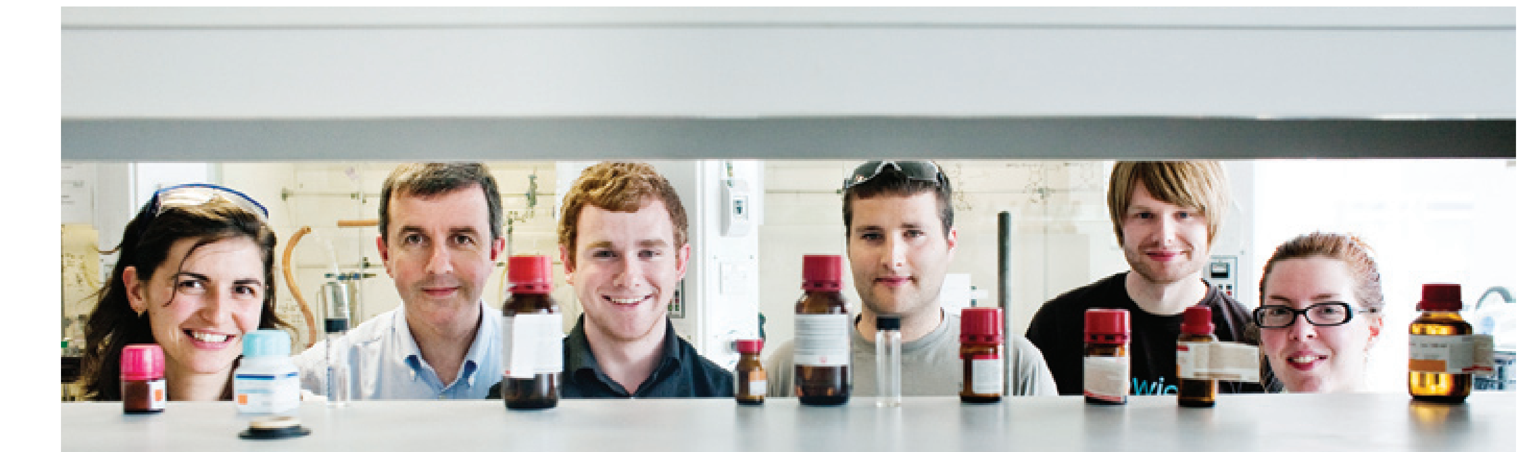
بعض التركيب مطلوب(*)

إذا اعتبرنا أن لدينا على الأقل مخططا لمسارات محتملة تقود إلى تشكيل الأسس النووية والسكريات والفوسفات، فإن الخطوة المنطقية التالية ستكون ربط هذه المكونات فيما بينها بالشكل المناسب. ولكن هذه الخطوة كانت السبب في أشد الإحباطات التي واجهتها أبحاث **كيمياء ما قبل الحياة** prebiotic chemistry خلال العقود القليلة الماضية. فمجرد مزج المكونات الثلاثة بالماء لا يقود إلى التشكل التلقائي للنيوكليوتيد، وهذا يعود بشكل أساسي إلى أن كل تفاعل ربط يتضمن أيضا إطلاق جزيء ماء، وهذا ما لا يحصل غالبا بشكل تلقائي في محلول مائي. ومن أجل تشكل الرابطة الكيميائية اللازمة لارتباط هذه الجزيئات يجب تأمين طاقة، على سبيل المثال، عن طريق إضافة مركبات غنية بالطاقة لتساعد على حدوث التفاعل. ومن الممكن أن العديد من هذه المركبات كان قد وُجد على سطح الأرض الحديثة التشكل. ولكن في المختبر، كانت التفاعلات التي غذتها مثل هذه الجزيئات بالطاقة غير فعالة في أحسن أحوالها، كما لم تكن ناجحة البتة في معظم الأحوال.

في ربيع عام 2009، وفي عمل ولّد إثارة كبيرة بين العاملين في هذا المجال من الأبحاث، أعلن <J. سذرلاند> ومساعدوه [من جامعة مانشستر في إنكلترا] أنهم وجدوا طريقة أكثر مصداقية توضح كيفية تشكل النيوكليوتيدات، وهذه الطريقة تتجاوز موضوع عدم استقرار

(*) Some Assembly Required

(١) هي مادة معدنية منشؤها الرئيسي نيزكي ومكونة من فوسفيد الحديد والنيكل [$(Fe,Ni)_3P$]. (التحرير)



بدائل لنظرية «الرنا أولا»(*)

PNA أولا: إن پپتيد الحمض النووي (پنا) PNA[1] هو جزيء ترتبط فيه أسس نووية بهيكل أساسي شبيه بالپروتين. وبسبب كون پپتيد الپنا PNA أبسط وأكثر ثباتا كيميائيا من الرنا RNA، يعتقد بعض الباحثين أنه قد يكون الپوليمير الجيني لأشكال الحياة الأولى على الأرض.

الأيض أولا: إن الصعوبات في شرح الكيفية التي تشكل فيها الرنا ابتداءً من مادة غير حية قادت بعض الباحثين إلى التنظير بأن الحياة نشأت في البداية كشبكات من محفزات تعالج الطاقة.

پانسپيرميا Panspermia: نظرا إلى أن عددا قليلا من مئات ملايين السنين تفصل تشكل الأرض عن ظهور أول أشكال الحياة عليها، فقد اقترح بعض العلماء أن المتعضيات الأولى على سطح الأرض قد كانت زائرة أتت من عوالم أخرى.

سكر الريبوز. لقد تخلى هؤلاء الكيميائيون المبدعون عن التقليد المتبع في محاولة تصنيع النيوكليوتيدات بربط أساس نووي وسكر وفوسفات بعضها ببعض. تعتمد مقاربتهم على المواد الابتدائية البسيطة نفسها التي وُظِّفت سابقا، مثل مشتقات السيانيد والأسيتيلين والفورمالدهايد. ولكن بدلا من تشكيل الأسس النووية وسكر الريبوز بشكل منفصل ومن ثم محاولة ربطهما معا، مزج فريق البحث المكونات الابتدائية مع بعضها بعضا، بوجود الفوسفات. أنتجت سلسلة معقدة من التفاعلات - أدى فيها الفوسفات دور حفّاز أساسيا في العديد من خطواتها - جزيئا صغيرا يدعى **«2-أمينو أوكزازول»** 2-aminooxazole، والذي يمكن اعتباره جزءا من سكر مرتبط بقطعة من أساس نووي[*انظر المؤطر في الصفحتين 6 و7*].

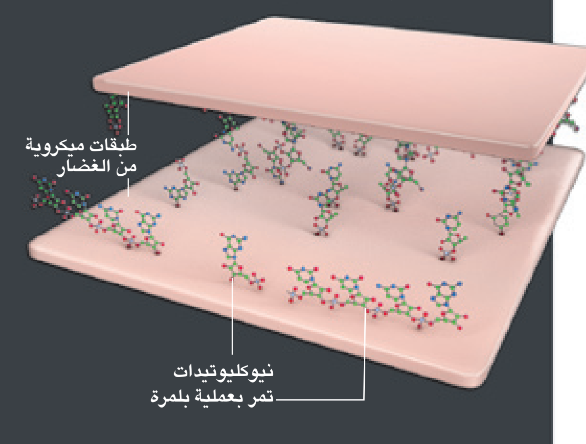
إن سمة حاسمة من صفات هذا الجزيء الصغير والمستقر هي أنه شديد **التطاير** volatile. ومن المحتمل أن كميات صغيرة من «2-أمينو أوكزازول» تشكلت مع مزيج من كيماويات أخرى في بركة صغيرة على سطح الأرض الحديثة التشكل؛ وعندما تبخر الماء، تطايرت جزيئات «2-أمينو أوكزازول» لتتكثف في مكان آخر بشكل منقّى. وهناك في ذلك المكان ستتجمع لتشكل خزانا من هذه المادة، جاهزة للدخول في تفاعلات كيميائية إضافية تؤدي إلى تشكل سكر مكتمل وأساس نووي مرتبطين معا.

هناك وجه آخر مهم ومرض لهذه السلسلة من التفاعلات، وهو أنّ بعضاً من النواتج الثانوية التي تنشأ في مرحلة مبكرة تسهل التحولات التي تطرأ على العملية في المراحل المتأخرة منها. ومع أن المسار أنيق، إلا أنه في بعض الحالات لا يولد حصريا الشكل «الصحيح» من النيوكليوتيدات: ففي بعض الحالات لا يعطي ارتباط السكر بالأساس النووي التركيب **الحيّزي** spatial المناسب. ولكن من المدهش، أن التعرض للأشعة فوق البنفسجية - وقد كانت إشعاعات فوق بنفسجية شديدة تسقط من الشمس على المياه الضحلة المتشكلة على سطح الأرض الحديثة التشكل - يخرب الأشكال «غير الصحيحة» من النيوكليوتيدات ويبقي على الأشكال «الصحيحة». والنتيجة النهائية هي طريق نظيف بصورة فائقة لتشكيل نيوكليوتيدات السيتوزين C واليوراسيل U. وبالطبع، نحن ما زلنا بحاجة إلى طريق من أجل تشكيل الگوانين G والأدينين A، وهكذا تبقى أمامنا بعض التحديات. ولكن، ما يقوم به فريق ‹سذرلاند› البحثي هو خطوة أساسية باتجاه توضيح الكيفية التي أمكن من خلالها لجزيء بتعقيد الرنا أن يتكون على الكرة الأرضية الحديثة التشكل.

[من الجزيئات إلى المتعضيات]

على الطريق إلى الحياة(**)

بعد أن خلقت التفاعلات الكيميائية أولى وحدات البناء الجينية والجزيئات العضوية الأخرى، قامت عمليات جيوفيزيائية بجلبها إلى بيئات جديدة وقامت بتكثيفها (بتركيزها). وتجمعت هذه الكيماويات معطية جزيئات معقدة تلاها تشكيل خلايا بدائية. ومنذ نحو 3.7 بليون سنة قد تكون الجيوفيزياء هي أيضا التي دفعت هذه الخلايا الأولية إلى التكاثر.



مناطق تكاثر الرنا

في المحاليل المائية، كانت لدى النيوكليوتيدات، التي تشكلت ضمنها، فرصة قليلة لتنضم مُشكلةً جدائل طويلة قادرة على تخزين المعلومات الجينية. ولكن تحت الشروط الصحيحة - فمثلا، إذا جلبتها قوى الالتصاق الجزيئية بالقرب من بعضها بين طبقتين ميكرويتين من الغضار (*الصورة أعلاه*) - فإنه يمكن للنيوكليوتيدات أن تنضم إلى بعضها مشكلة جدائل منفردة شبيهة بالرنا الذي نعرفه اليوم.

(*) ALTERNATIVES TO «RNA FIRST»
(**) On The Way To Life
(1) Peptide nucleic acid

التكاثر بالمساعدة

بمجرد تحررها من الغضار، قد تغدو الپوليميرات الحديثة التشكل محاطة بأكياس مملوءة بالماء حيث تصطف الأحماض الدهنية تلقائيا لتشكل أغشيةً. وفي الغالب، احتاجت الخلايا الأولية تلك إلى بعض التحفيز الخارجي لكي تبدأ بمضاعفة مادتها الجينية، ومن ثَمّ البدء بالتكاثر. وفي واحدٍ من السيناريوهات المحتملة (*في اليسار*) دارت هذه الخلايا الأولية بين الأنحاء الباردة والساخنة لبركة ما، والتي قد تكون متجمدة جزئيا على أحد جوانبها (كانت الأرض الحديثة التشكل في غالبها باردة) وذائبة على جانبها الآخر بفعل حرارة بركان.

وعلى الجهة الباردة من البركة، أدت جدائل منفردة من الرنا 1 دور مرصافات شكلت عليها النيوكليوتيدات الجديدة أزواجا قاعديةً (حيث شكلت الأسس As أزواجا مع الأسس Us، وكذلك Cs مع Gs) مما نتج منه جدائل مزدوجة 2. والحرارة، على الجهة الحارة من برْكة الماء، ستؤدي إلى فصل الجدائل المزدوجة عن بعضها بعضا 3. ويمكن للأغشية أيضا أن تنمو ببطء 4 إلى أن تنقسم الخلايا الأولية إلى خلايا أولية «بنات» للخلايا الأصلية 5، والتي سيكون بإمكانها بدء هذه الدورة من جديد.

بمجرد انطلاق دورات التكاثر، أقلعت آلة التطور - تقودها طفرات عشوائية - وفي نقطة ما من العملية حصلت الخلايا الأولية على القدرة الذاتية على التكاثر. وولدت الحياة.

الجانب البارد من البركة

الجانب الدافئ من البرْكة

1 تدخل النيوكليوتيدات وتُشكل جدايل متممة.

نيوكليوتيدات

جديلة رنا مضاعفة (مزدوجة).

2 خلايا أولية تصل إلى مرحلة النضج.

3 الحرارة تفصل الجدائل عن بعضها بعضا.

اتجاه الانتقال

4 الأغشية تضم جزيئات أحماض دهنية جديدة وتنمو.

جزيئات دهنية

5 خلايا أولية تنقسم، وتكرر الخلايا البنات الدورةَ.

الخلايا البنات

قارورة صغيرة دافئة(*)

وبمجرد أن تتشكل لدينا النيوكليوتيدات، فإن الخطوة الأخيرة في عملية تشكل الرنا هي **البلمرة** polymerization: حيث يشكل السكر في أحد النيوكليوتيدات رابطة مع مجموعة الفوسفات في النيوكليوتيد الذي يليه بحيث تشكل النيوكليوتيدات سلسلة متصلة. مرة ثانية، لا يمكن تشكل مثل هذه الروابط تلقائيا في الماء، وهي، بدلا من ذلك، تحتاج إلى بعض الطاقة الخارجية. ومن خلال إضافة كيماويات متنوعة إلى محلول يضم أشكالا فعالة كيميائيا من النيوكليوتيدات، تمكن الباحثون من إنتاج سلاسل قصيرة من الرنا، يتراوح طولها بين 2 و 40 نيوكليوتيد. وفي أواخر تسعينات القرن العشرين بَيَّن <J. فيريس> ومساعدوه [من معهد رينسلير للتقانات المتعددة] أن المعادن الغضارية(1) تعزز من هذه العملية، مؤدية إلى إنتاج سلاسل من الرنا تصل حتى 50 من النيوكليوتيدات أو ما يقاربها (علما بأن جينا نموذجيا في عصرنا الحالي يبلغ طوله ما بين آلاف وملايين النيوكليوتيدات). إن المقدرة المتأصلة في المعادن الغضارية على الارتباط بالنيوكليوتيدات تمكّنها من وضع جزيئات نشطة كيميائيا قرابة بعضها بعضا، مما يمكّن بالتالي من تشكيل الروابط الكيميائية فيما بينها [*انظر المؤطر في هاتين الصفحتين*].

لقد عزز هذا الاكتشاف الاقتراح الذي تقدم به بعض الباحثين بأن الحياة يمكن أن تكون قد بدأت على سطوح معدنية، وغالبا في الطين الغني بالغضار في أسفل أحواض الماء التي شكلتها الينابيع الحارة(2).

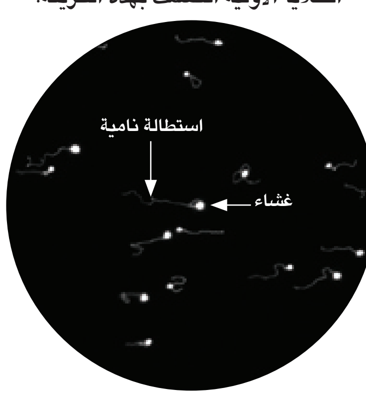
ومن المؤكد أن اكتشاف الطريقة التي

(*) Some Warm, Little Vial

(1) clay minerals

(2) انظر: «*Life's Rocky Start*,» by Robert M. Hazen; *Scientific American*, April 2001

▼ تتشكل الأغشية ذاتيا من جزيئات أحماض دهنية منحلة في الماء. وتبدأ الأغشية على شكل كروي، بعد ذلك تنمو منها استطالات بواسطة أحماض دهنية جديدة (*الصورة الميكروية في الأسفل*). ومن ثم، تصبح على شكل أنابيب طويلة ورفيعة وتتكسر معطية العديد من الكرات. قد تكون أولى الخلايا الأولية انقسمت بهذه الطريقة.



[من عالم الرنا إلى البكتيريا]

رحلة إلى الخلية الحديثة(*)

بعد بدء الحياة، دفع التنافس بين أشكال الحياة باتجاه استمرار ظهور متعضيات أكثر تعقيدا. وقد لا نعرف أبدا التفاصيل الدقيقة لعملية التطور التي حدثت بعد بداية الحياة، ولكن إليكم تسلسلا معقولا لبعض الأحداث الأساسية التي قادت من الخلايا الأولية[1] protocells الأولى إلى الخلايا التي تعتمد الدنا كالبكتيريا.



1 التطور يبدأ ▲
الخلية الأولية الأولى هي عبارة عن كيس من الماء ورنا ويحتاج إلى محفز خارجي (كأن تكون هناك دورات من الدفء والبرودة) من أجل التكاثر. ولكنها بعد فترة قصيرة ستكتسب صفات جديدة.

2 تحفيز رنوي ▼
ظهور الإنزيمات الريبية (ريبوزيمات) ribozymes – وهي جزيئات رنا مثنيّة مشابهة للإنزيمات ذات الأساس البروتيني – وتَوَليها مهام مثل تسريع التكاثر وتقوية الغشاء الخلوي. ونتيجة لذلك، تبدأ الخلايا بالتكاثر اعتمادا على ذاتها.



3 الأيض يبدأ ▲
تحفز إنزيمات ريبية أخرى عملية الأيض – وهي سلسلة من التفاعلات الكيميائية تمكّن الخلايا الأولية من التزود بالمغذيات من البيئة.

نشـأت فيها البوليميـرات الجينية لأول مرة لن يحلّ مشـكلة أصل الحيـاة. ولكي تكون المتعضيات حية يجـب أن تكون قادرة على المضي في التكاثر، وهي عملية تتضمن نسخ المعلومـات الجينية. ففـي الخلية المعاصرة تقـوم الإنزيمات، وهي جزيئـات ذات طبيعة بروتينية، بوظيفة النسخ هذه.

ولكن يمكن للبوليميرات الجينية إذا قُدّر لها أن تُصْنع من التسلسلات النيوكليوتيدية الصحيحـة، أن تنثني علـى بعضها لتأخذ أشكالا معقدة ويمكن لها أن تحفز تفاعلات كيميائية، تماما كما تفعل الإنزيمات المعروفة فـي عصرنا الحالـي. لذلك، يبـدو معقولا أنـه كان بإمكان الرنا الـذي وجد في أولى المتعضيـات التحكم في تضاعفـه الذاتي. وقد ألهمت هـذه الفكرة تجارب عدة في كل مـن مختبرنا ومختبر <D. بارتيل> في المعهد MIT، حيـث «طورنـا» في هـذه التجارب إنزيمات ريبية جديدة.

لقد بدأنا بتريليونات من تسلسلات رنوية عشوائية. ومن ثم، اخترنا منها التسلسلات التي امتلكت خصائـص تحفيزية، وصنعنا نسـخا منهـا. وفـي كل جولة نسْـخ رنا أُخْضعـت بعض جدائـل الرنا الجديدة إلى طفـرات حولتها إلى محفـزات أكثر فاعلية، ومرة أخرى اخترنا تلك التي امتلكت الفعالية التحفيزية الأعلى من أجل إخضاعها للجولة الثانيـة من النسـخ. وقد تمكنـا عن طريق هذا التطـور المَوَجَّه من إنتاج إنزيمات ريبية يمكنها تحفيز نسـخ جدائل قصيرة نسبيا من جزيئات رنا أخرى، مع أن هذه الإنزيمات الريبية لم تكن قادرة على نسـخ بوليميرات بالاعتمـاد على تسلسـلاتها النيوكليوتيدية بحيث تعطي تسلسلات رنا وليدة.

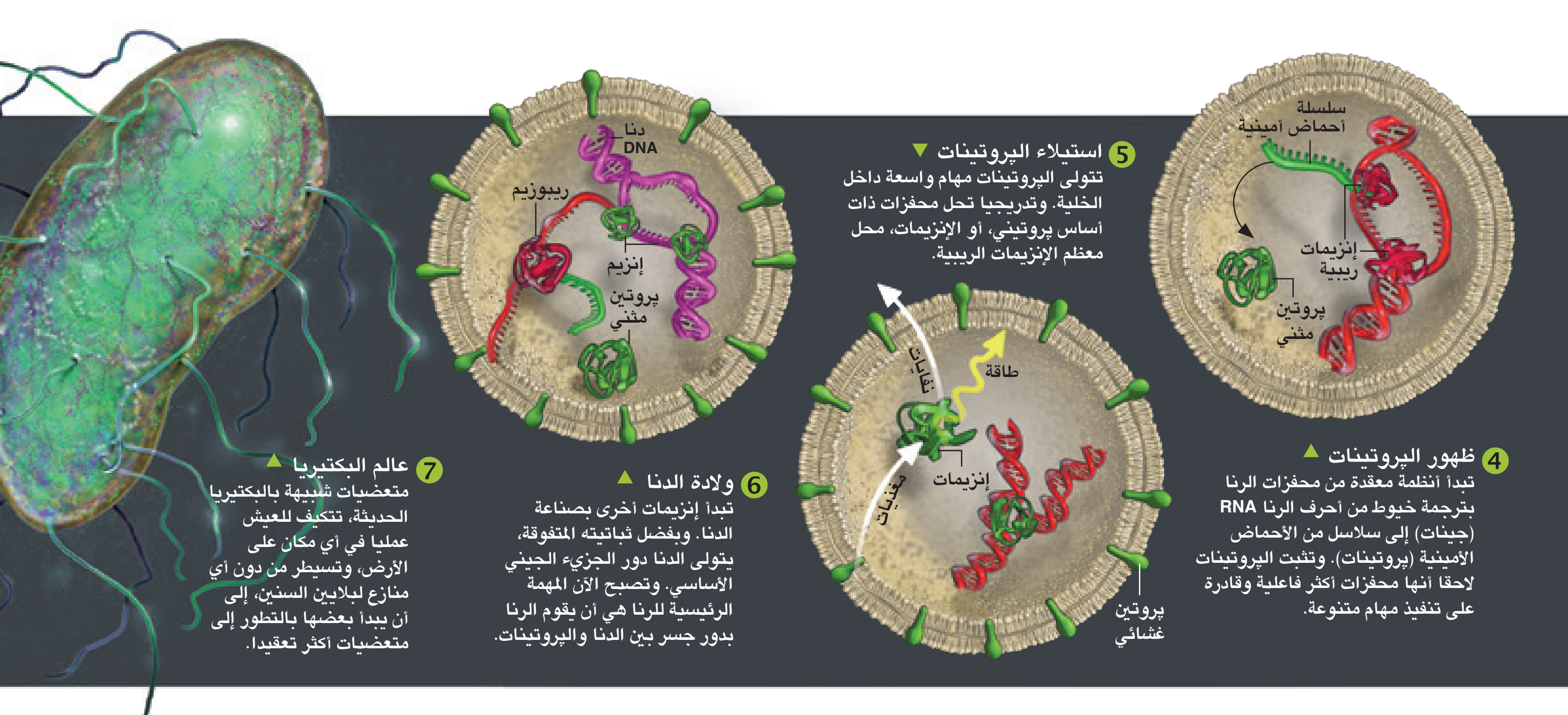
مؤخرا، حصل مبـدأ التضاعف الذاتي للرنـا علـى دعم مـن <T. لينكولـن> و <G. جويس> [مـن معهد سـكريبس للأبحاث] حيـث قاما بتطوير اثنين مـن إنزيمات الرنا الريبية، يمكن لكل منهما أن يصنع نسـخا من الآخر وذلك عن طريق وصل جديلتي رنا أقصر إحداهما مع الأخرى. ولسـوء الحظ، تطلب نجاح هـذه التجارب توفـر قطع رنا كانت موجودة أساسـا، وهـي أطول وأكثر تعقيـدا من أن تكـون قد تشـكلت تلقائيا. ومـع ذلك، فإن النتائج توحي أن الرنا يمتلك القـدرة التحفيزية الصرْفـة التي تمكنه من تحفيز تضاعفه الذاتي.

هل هناك بديل أبسط؟ نستكشف الآن مع آخرين طرقا كيميائية لنسـخ جزيئات جينية مـن دون مسـاعدة المحفـزات. ففي تجارب

معضلة بناء متعضية من مواد غير حية(**)

يتطلع العلماء الذين يدرسون نشوء الحياة إلى بناء متعضية ذاتية التضاعف وذلك انطلاقا من مواد غير حية تماما. والتحدي الأكبر في هذا المضمار هو إيجاد **جزيء جيني** genetic molecule قادر على التضاعف الذاتي تلقائيا. ويقوم المؤلفان والمتعاونون معهما بتصميم وتركيب صيغ معدلة من الرنا والدنا بحثا عن هذه الخاصية المحيرة. وربما لا يكون الرنا بذاته هو الحل: فضفائره المضاعفة لا تنفصل بسهولة لتصير جاهزة للتنسخ (للتضاعف)، إلا إذا كانت قصيرة جدا.

(*) Journey to the Modern Cell
(**) LIFE, REDUX
(١) أو بادئات الخلايا، أو الخلايا البدائية. (التحرير)



حديثة، بدأنا باستخدام «**مرصاف**» template من جدائل مفردة من الدنا؛ (استخدمنا الدنا لأنه أقل تكلفة وأسهل في العمل، ولكن كان بإمكاننا استخدام الرنا بالفاعلية نفسها أيضا). لقد مزجنا المرصافات بمحلول يحوي نيوكليوتيدات معزولة، وذلك لنرى إن كانت النيوكليوتيدات سترتبط بالمرصاف وذلك من خلال **مزاوجة أسس متممة**[1] بعضها ببعض (A ترتبط بـ T و C ترتبط بـ G)، وبعد ذلك تتبلمر معطية بذلك جديلة مضاعفة كاملة. وسيكون ذلك الخطوة الأولى باتجاه التضاعف الكامل: بمجرد تشكل جديلة مضاعفة، فإن انفصال هذه الجدائل عن بعضها سيسمح لكل جديلة متممة أن تقوم بدور المرصاف من أجل نسخ الجديلة الأصلية. وهذه العملية هي بطيئة جدا في حالة الدنا والرنا النموذجيين. ولكن إجراء تغييرات طفيفة على البنية الكيميائية لمكون السكر في النيوكليوتيد – استبدال زوج واحد من الأكسجين/ هيدروجين بمجموعة أمينو (مكونة من نتروجين وهدروجين) – جعل عملية البلمرة أسرع بمئات المرات، بحيث تشكلت الجدائل المتممة خلال ساعات بدلا من أسابيع. وسلك البوليمير الجديد مسلكا شبيها بالرنا النموذجي وذلك على الرغم من احتوائه على روابط بين النتروجين والفوسفور بدلا من روابط الأكسجين والفوسفور العادية.

قضايا حدودية[*]

إذا افترضنا للحظة بأنه سيجري في يوم ما ملء الثغرات الموجودة في فهمنا لكيمياء أصل الحياة، فإنه يمكن لنا البدء بالتفكير في الكيفية التي أمكن فيها للجزيئات أن تتفاعل فيما بينها بحيث تجمعت لتأخذ بنىً شبيهة بالخلايا أو ما يعرف بـ «الخلايا الأولية».

إن الأغشية التي تحيط بجميع الخلايا الحديثة تتكون أساسا من طبقة مزدوجة من الليبيدات: غطاء مضاعف من جزيئات زيتية كالفوسفوليبيدات والكوليستيرول. وتحافظ الأغشية على مكونات الخلايا مجتمعة مع بعضها في حيز فراغي واحد، كما أنها تشكل حاجزا أمام المرور غير المنضبط للجزيئات الضخمة. وتتصرف بروتينات معقدة التركيب منغرسة في هذه الأغشية كحراس بوابات، كما تقوم بضخ الجزيئات من وإلى الخلية، في حين تساعد بروتينات أخرى على بناء وإصلاح الغشاء الخلوي. ولكن، كيف يمكن لخلية أولية غير متطورة، تفتقر إلى الآليات البروتينية، أن تقوم بهذه المهام؟

(*) Boundary Issues
(١) complementary base pairing

وعلى الأغلب، فإن الأغشية المخاطية كانت قد صنعت من جزيئات أبسط، كالأحماض الدسمة (وهي أحد مكونات الفوسفوليبيدات الأكثر تعقيدا). وقد بينت دراسات أجريت في أواخر السبعينات أنه بإمكان الأغشية الخلوية بالفعل أن تتجمع تلقائيا ابتداءً من أحماض دسمة صرْفة، ولكن الشعور العام كان أن هذه الأغشية قد تشكل حاجزا صعبا أمام عبور النيوكليوتيدات والمغذيات الأخرى المعقدة التركيب إلى داخل الخلية. وقد أوحت هذه الفكرة أنه من أجل أن تتمكن الخلايا من تصنيع النيوكليوتيدات الخاصة بها كان لا بد من تطور الأيض (الاستقلاب) الخلوي أولا. ولكن، أظهر عمل نُفِّذ في مختبرنا أنه في الحقيقة يمكن لجزيئات بضخامة النيوكليوتيدات أن تنسل عبر الغشاء الخلوي شريطة أن يكون كل من الأغشية والنيوكليوتيدات ذات أشكال أبسط وأكثر بدائية من نظائرها الموجودة حاليا.

لقد أتاح لنا هذا الاكتشاف إجراء تجربة بسيطة تنمذج مقدرة الخلايا البدائية على نسخ المعلومات الجينية باستخدام مكونات غذائية ذات مصدر بيئي. وقمنا بتحضير **حويصلات غشائية** membrane vesicles أساسها الأحماض الدسمة وتحتوي بداخلها على قطعة قصيرة من الدنا الوحيد الجديلة. وكما في السابق، يقوم الدنا هنا بدور مرصاف من أجل إنشاء جديلة جديدة متممة. وبعد ذلك، قمنا بتعريض هذه الحويصلات لأشكال فعالة كيميائيا من النيوكليوتيدات. وقد عبرت النيوكليوتيدات الغشاء تلقائيا، وما أن أصبحت داخل ما يمثل الخلية الأولية (الحويصلة) حتى انتظمت على جديلة الدنا الموجودة داخل الخلية وتفاعلت كل واحدة منها مع الأخرى مشكلة جديلة جديدة متممة. وتدعم هذه التجربة فكرة أن الخلايا الأولية الأولى احتوت الرنا (أو على شبيه له) ولا شيء آخر غيره، وأنها كانت تضاعف (تنسخ) مادتها الجينية من دون وجود لأية إنزيمات.

ليكن هناك انقسام(*)

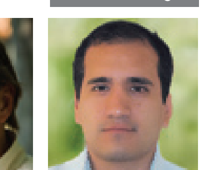
حتى تتمكن الخلايا الأولية من التكاثر، عليها أن تكون قادرة على النمو وأن تضاعف محتواها الجيني، ومن ثم تنقسم إلى خلايا بنات للخلية الأم المتساوية في الحجم. وقد أظهرت التجارب أن الحويصلات البدائية يمكنها النمو على الأقل بطريقتين مميزتين. وفي إطار عمل رائد أجري في التسعينات، قام <L .P> لويزي> وزملاؤه [من المعهد الفيدرالي السويسري للتقانة في زيورخ] بإضافة أحماض دهنية جديدة إلى الماء المحيط بهذه الحويصلات. وقد استجابت أغشية الحويصلات بالسماح بدخول هذه الأحماض الدهنية عبر أغشيتها، ونمت مساحتها السطحية نتيجة لذلك. ومع استمرار الدخول البطيء للماء والمواد المنحلة فيه إلى داخل الخلايا ازداد أيضا حجمها.

وفي مقاربة ثانية، جرى استكشافها في مختبرنا من قبل طالبة الدراسات العليا حينذاك <I. تشين>، تضمنت التنافس بين خلايا أولية؛ حيث أصبحت خلايا أولية نموذجية منتفخة نتيجة ملئها بالرنا أو بمادة شبيهة، وهو تأثير **حلولي** osmotic ناتج من محاولة جزيئات الماء دخول الخلايا ومعادلة تركيزها داخل وخارج هذه الخلايا. وبذلك، فإن غشاء مثل هذه الحويصلات المنتفخة تعرّض لتوتر، وهذا التوتر أدى إلى النمو، وذلك لأن إضافة جزيئات جديدة تُهدئ من التوتر الحاصل على الأغشية، مخفضة بذلك طاقة المنظومة. في الحقيقة، إن الحويصلات المنتفخة نمت عن طريق سرقة الأحماض الدهنية من الحويصلات المسترخية المجاورة، والتي انكمشت نتيجة لذلك.

في عام 2008، لاحظ <T. زهو> [وهو طالب دراسات عليا في مختبرنا] نمو خلايا أولية نموذجية إثر تغذيتها بأحماض دهنية أضيفت حديثا. ولدهشتنا، فإن الحويصلات التي كانت أساسا كروية الشكل لم تنمُ بحيث

(*) Let There Be Division

المؤلفان



Jack W. Szostak   Alonso Ricardo

*<**ريكاردو**> ولد في كولومبيا، وهو باحث زميل في معهد هاوارد هيوز الطبي بجامعة هارڤرد. لديه اهتمام كبير بأصل الحياة وهو يدرس الآن الأنظمة الكيميائية الذاتية التضاعف. <**زوستاك**> هو أستاذ علم الوراثة في جامعة هارڤرد. واهتمامه بالإنشاء المختبري للبنى البيولوجية كوسيلة لاختبار فهمنا حول كيف تعمل عمل البيولوجيا، يعود إلى إنشاء الكروموسومات الصنعية، التي كان قد وصفها في العدد 1987/11 من مجلة* ساينتفيك أمريكان.

صارت أكبر حجما؛ وإنما قامت، بدلا من ذلك، بمد استطالات رفيعة استمرت بالنمو طولا وازدادت ثخانتها، محولة الحويصلة برمتها تدريجيا إلى أنبوب طويل ورفيع. وقد كانت هذه البنية حساسة، بحيث إن اهتزازا خفيفا (كذلك الذي يمكن أن يحدث عندما تولّد ريح خفيفة موجات على سطح بركة ماء) تسبب في تفتت الحويصلة إلى عدد من الخلايا البنات البدائية الصغيرة الحجم والكروية الشكل، والتي نمت بدورها لتصبح أضخم وتعيد تكرار الدورة السابقة نفسها [*انظر الصورة الميكروية في الصفحة 9*].

إذن، عند توفر قوالب البناء المناسبة، فإن تشكل الخلايا الأولية لا يبدو أمرا صعبا: فالأغشية تتشكل ذاتيا والپوليميرات الجينية تتشكل ذاتيا أيضا، ويمكن جمع هذين المكونين معا بطرائق متنوعة، مثلا، كأن تتشكل الأغشية حول پوليميرات موجودة أصلا. كذلك، فإن هذه الأكياس من الماء والرنا ستنمو أيضا، وتمتص جزيئات جديدة، وتتنافس على الغذاء، وتنقسم. ولكنها، من أجل أن تغدو حيةً فإنها ستحتاج أيضا إلى أن تتكاثر وتتطور. وعلى الأخص، فإنها تحتاج إلى فصل جديلتي الرنا الموجودتين في داخلها إحداهما عن الأخرى بحيث تتمكن كل جديلة منفردةً من أداء دور مرصاف لتشكيل جديلة جديدة يمكن توريثها إلى خلية ابنة للخلية الأم.

لا يمكن أن تكون هذه العملية قد بدأت من تلقائها، ولكن يمكن أن تكون قد جرت بقليل من المساعدة. تخيل، مثلا، منطقة بركانية على سطح الأرض الحديثة التشكل الذي تعُمُّه البرودة (في ذلك الوقت، كانت قوة الشمس الإشعاعية على سطح الأرض تعادل 70% من قوتها الإشعاعية الحالية). لقد كان من الممكن حينذاك وجود برك صغيرة من الماء البارد، وربما المغطى جزئيا بالجليد وبقي معظمه في شكله السائل بتأثير تماسه مع الصخور الساخنة. والفروقات الحرارية ستتسبب في تشكيل تيارات حمل حراري، بحيث إنه بين الحين والآخر ستتعرض الخلايا الأولية الموجودة في الماء إلى دفقة من الحرارة أثناء مرورها بالقرب من الصخور الحارة، ولكنها ستعود وتبرد لحظيا مرة أخرى نتيجة لاختلاط الماء الساخن بالكتلة الأكبر من الماء البارد. كما أن التسخين المفاجئ سيتسبب في انفصال الحلزون المزدوج إلى جديلتين منفردتين. ولدى عودتها إلى المنطقة الباردة، ونتيجة لقيام الجدائل المنفردة بدور مرصافات يمكن أن تتشكل جدائل مزدوجة جديدة - هي نسخ من الجدائل الأصلية [*انظر المؤطر في الصفحتين 8 و9*].

وما أن دفعت البيئة الخلايا الأولية نحو التكاثر، انطلق التطور. وعلى الأخص، حدثت في لحظة ما طفرات على بعض تسلسلات الرنا، محولة إياها إلى إنزيمات ريبية سرّعت عملية نسخ الرنا مضيفة بذلك ميزة تنافسية. مما أدى في النهاية إلى بدء الإنزيمات الريبية بنسخ الرنا من دون الحاجة إلى أي مساعدة خارجية.

ومن السهل نسبيا تخيل الكيفية التي تطورت من خلالها خلايا أولية أساسها الرنا [*انظر المؤطر في الصفحتين 10 و11*]. يمكن أن يكون الأيض قد نشأ تدريجيا، مع تمكين الإنزيمات الريبية للخلايا من تصنيع المواد المغذية داخليا ابتداءً من مواد أولية أبسط وأكثر وفرةً. وبعد ذلك، يمكن أن تكون المتعضيات قد أضافت صناعة الپروتين إلى جعبة الخدع الكيميائية التي تمتلكها.

ونتيجة لمقدراتها المدهشة؛ فلابد أن الپروتينات كانت قد استولت على دور الرنا في المساعدة على النسخ الجيني والأيض. وفيما بعد، «تعلمت» المتعضيات كيفية صناعة الدنا مكتسبة بذلك ميزة امتلاك حامل للمعلومات الجينية أكثر صلابة وقوة. في تلك اللحظة، أصبح عالمُ الرنا عالما للدنا، وبدأت معه الحياة كما نعرفها الآن. ■

مراجع للاستزادة

Synthesizing Life. Jack Szostak, David P. Bartel and P. Luigi Luisi in *Nature*, Vol. 409, pages 387–390; January 2001.

Genesis: The Scientific Quest for Life's Origins. Robert M. Hazen. Joseph Henry, 2005.

The RNA World. Edited by Raymond F. Gesteland, Thomas R. Cech and John F. Atkins. Third edition. Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2006.

A Simpler Origin for Life. Robert Shapiro in *Scientific American*, Vol. 296, No. 6, pages 24–31; June 2007.

A New Molecule of Life? Peter Nielsen in *Scientific American*, Vol. 299, No. 6, pages 36–43, December 2008.

Exploring Life's Origins. Multimedia project at the Museum of Science. http://exploringorigins.org

Scientific American, September 2009



أُفول الإنسان النياندرتالي(*)

يعلم علماء الإنسان القديم عن الإنسان النياندرتالي أكثر من أي إنسان منقرض آخر. غير أن انقراضه يبقى لغزا تزداد غرابته أكثر فأكثر.

<K. وونگ>

مفاهيم مفتاحية

- ساد النياندرتاليون، أقرب أقربائنا من البشر، أوروبا وغرب آسيا لأكثر من 000 200 سنة. ولكنهم اختفوا قبل نحو 000 28 سنة.
- لمدة طويلة، شكّك العلماء فيما قاد إلى اختفائهم. فنظريات انقراضهم الأخيرة تُركّز على التغيّرات المناخية وعلى الاختلافات الصغيرة في السلوك والبيولوجيا التي ربّما مكّنت أفراد الإنسان الحديث من التغلّب على النياندرتاليين.

محررو سيانتفيك أمريكان

قبل نحو 000 28 سنة، تابعت مجموعة من أفراد الإنسان النياندرتالي العيش في أراضي جبل طارق البريطانية على طول شاطئ البحر الأبيض المتوسط الصخري. لقد كانوا على ما يبدو المجموعة المتبقية الأخيرة من النوع النياندرتالي. أمّا في المناطق الأخرى من أوروبا وغربي آسيا، فقد اختفوا قبل ذلك بآلاف السنين، بعد أن سيطروا على هذه المناطق أكثر من 000 200 سنة. ويبدو أن شبه الجزيرة الإيبيرية، الذي يتميز بمناخ لطيف نسبيا وبغناه وتنوع حيواناته ونباتاته، كان معقلهم الأخير. بيد أنه سرعان ما اختفت مجموعة جبل طارق مخلفة وراءها فقط عددا قليلا من أدواتها الحجرية وبقايا مواقدها المتفحمة.

ومنذ اكتشاف أول أحفورة للإنسان النياندرتالي في عام 1856، بدأ العلماء بمناقشة مكان هؤلاء الأفراد من البشر القدماء في شجرة نسب فصيلة البشر وماذا حصل لهم. فقد هيمنت على النقاش نظريتان متنافستان عشرات السنين. الأولى، تعتقد أنّ النياندرتاليين كانوا نوعا قديما من جنسنا البشري الحديث، ***الإنسان العاقل***

(*) TWILIGHT OF THE NEANDERTALS

Homo sapiens، وتطـوّروا إلى أفراد البشـر الأوروبيـين الحديثـين أو اندمجـوا فيهـم تشـريحيا. أمّا النظريـة الثانية، فتفترض أنّ النياندرتاليين كانوا يشـكلون نوعا منفصلا، ***الإنسان النياندرتاليني*** *H. neanderthalensis*، قضـى عليه بسـرعة الإنسـانُ الحديث لدى دخوله معاقل أفراد الإنسان القديم.

ولكن، خلال السـنوات العشـر الماضية، غيرت نتيجتان علميتان محور المناقشة بعيدا عن السؤال: هل كان الحدث بين النياندرتاليين والحديثين هو التـزاوج أم الحرب؟ إحداهما تتوقـع أن تعطي نتائـج تحاليل **الدنا** DNA إشارات عن عمليات تهجين بين النياندرتاليين وأفراد الإنسـان الحديـث توقعها العديد من الباحثـين في حالة حـدوث اختلاط كبير بين المجموعتين. أما النتيجة الأخرى، فهي تستند إلى تحسـين طرائق تحديد العمـر لتبين أنه عوضا عن اختفاء النياندرتاليين مباشرة بعد أن غزا الإنسـان الحديـث أوروبا قبل40 000 سنة، استمر وجودهم لمدة 15 000 سنة تقريبا بعد استقرار الإنسان الحديث ـ خلافا لنظرية الإحلال السريع التي يتصورها مؤيدو **نظرية بليتزكريك** blitzkrieg theory .

وهـذه الاكتشـافات شـجعت عـددا من الباحثـين علـى أن يتفحصوا باهتمـام أكبر، عوامل أخرى يمكن أن تكون قادت إلى انقراض النياندرتاليين. ويدل ما وجدوه على أنّ الجواب يشير إلى تفاعل عدد كبير من الإجهادات.

عالم متقلب(*)

إن أحد خطوط الأدلة الجديدة القاطعة المتعلقة بانقـراض النياندرتاليين هو بيانات المناخ القديم. فقد كان العلماء علـى دراية منذ بعض الوقت أن النياندرتاليين شـهدوا الظروف الباردة الجليدية والظروف بـين الجليديـة الأكثر اعتـدالا خلال كونهم أسـياد مناطقهم لفتـرة طويلة. ومن ناحية ثانية، اسـتطاع الباحثون في السنوات الأخيرة – اسـتنادا إلى نتائج تحاليل النظائر المحتبسة في الجليد القديم والرواسـب البحرية وحبوب اللقاح المسـتخرجة من موقـع مثل گرينلانـد وفنزويلا وإيطاليا – إعادة بناء صـورة أكثر دقة بكثير عن التغيـرات المناخية التي حدثت خـلال فترة تُعرف **بمرحلة نظير الأكسجين 3** (OIS-3). ومن خلال تقصي ما جرى خلال الفترة الممتدة ما بين 65 000 و 25 000 خلت، نجد أن المرحلة OIS-3 بدأت بشـروط مناخية معتدلة وانتهت بجليديات غطت أوروبا الشمالية.

إذا أخذنـا بالحسـبان أنّ النياندرتاليـين كانوا الوحيدين من البشـر في أوروبا في بداية المرحلة OIS-3 وأنّ أفراد الإنسان الحديث كانوا الوحيدين هناك في نهايتها، فقد شكّك الخبراء

[الافتراض الأول]

هل تغير المناخ هو الذي أهلك النياندرتاليين؟(**)

قبـل 55 000 سـنة تقريبـا، بدأ المناخ فـي قارة Eurasia بالتقلب بشـدة، من مناخ بارد إلـى مناخ معتدل والعـودة ثانيـة إلى ما كان عليه على مدى عشـرات السـنين. وخـلال الفترات البـاردة، تقدّمت الأغطية الجليدية وحلت محلّ البيئات الغابية سهول «التوندرا» الخالية من الأشجار على معظم الأراضي التي سـكنها النياندرتاليـون. رافقت هذه التغيّرات تغيّرا فـي حيوانات الفرائس المتاحة. فالفترات الزمنية الطويلـة بـين التقلبات المناخيـة الماضية أتاحت لأفـراد النياندرتاليين المتناقصة في العـدد وقتا كافيا لتعويض ما خسرته والتكيّف مع الظروف الجديدة.

ومـع ذلـك، وفـي هـذا الوقـت، يمكـن أن تكـون سـرعة تغيّر المنـاخ جعلـت تعويض ما خسـره النياندرتاليـون مسـتحيلا. فقبـل 30 000 سـنة لم يبـق على قيد الحيـاة من النياندرتاليـين إلاّ جيوبٌ قليلة، اسـتمرّ وجودهم في شـبه الجزيرة الإيبيرية، مع مناخها المعتدل نسبيا ومواردها الغنية. وهذه المجموعات كانت صغيرة جدا ومقسّمة لتوفير احتياجات حياتهم، ومع ذلك، فقد اختفت في آخر الأمر. يبيّن المصوّر في الأسـفل الشـروط المترافقة مع الحدود القصوى الباردة (الجليدية) الأخيرة قبل نحو 20 000 سنة التي زودتنا بتقريب عن الشروط الحدية التي ربما يكون النياندرتاليون قد تحملوها عند نهاية فترة سيطرتهم.



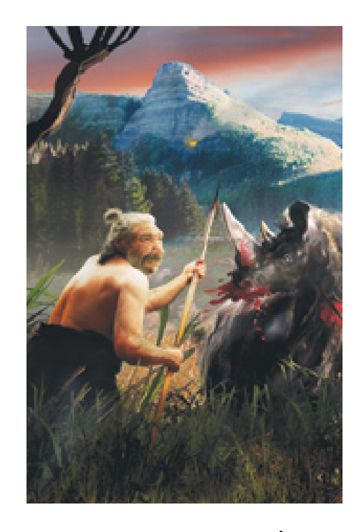
A World in flux (*)
Did Climate Change Doom the Neandertals? (**)

فيمــا إذا كان التناقــص الشــديد المفاجــئ فــي درجات الحــرارة هو الذي ســبّب موت النياندرتاليين، وربّما كان ذلك بســبب أنّهم لم يجدوا طعاما كافيا أو دفئا إلى حد كاف. ومع ذلك، فإنّه من مناقشة هذا السيناريو يتبيّن أنّه سيناريو مضلّل لسبب أساسي واحد: وهو أنّ النياندرتاليين كانوا قد واجهوا شروطا جليدية باردة من قبل وبقوا مع ذلك على قيد الحياة.

وفــي الواقع، تشــير مظاهــر بيولوجية وسلوكية متعدّدة للنياندرتاليين إلى أنّهم كانوا متكيّفين تماما مع المنــاخ البارد. فصدورهم الضخمة وأطرافهــم القوية ربما كانت تحفظ حرارة أجســامهم، على الرغــم من أنهم كان لديهــم ثيــاب إضافيــة مصنوعة مــن جلود الحيوانات تجنّبهم البرد القارس. ويبدو أنّ بناء أجســامهم العضلي تكيّف مع صيد الثدييات الكبيــرة التي تعيش بنمط التوحد النســبي - مثل وحيد القرن الصوفي - والتي كانت تجول في وسط أوروبا وشمالها خلال فترات البرد القارس. (ويمكن أن تكون سمات أخرى مميّزة للنياندرتاليين، مثل شــكل الحواجب البارزة، ســمات حيادية تكيفية أصبحت متوطدة عبر تغيّر وراثي تدريجي، وليس اصطفائيا.)

غيــر أنّ البيانــات النظائرية تكشــف أنه عوضا عن تغيــر المناخ بصــورة مطردة من معتدل إلى قارس، أصبح غير مستقر بصورة متزايــدة ووصل إلــى ذروة العصر الجليدي الأخير متقلبا بشــدة وبصــورة مفاجئة. ومن جــراء ذلك التقلب، حدث تغيّر بيئي كبير: فقد تحوّلت الغابات إلى أراض عشبية مجردة من الأشجار، وحلّت الأيائل محل وحيدات القرن. لقد حصلت هذه التقلبات بسرعة كبيرة لدرجة أنهــا أدت خلال مدى حياة الفرد الواحد إلى هلاك كافة النباتــات والحيوانات التي ألفها، وحلّــت محلّها مجموعات حيوانية ونباتية غير مألوفة له. وعندئذ، تغيّرت البيئة ثانية بسرعة وعادت إلى ما كانت عليه.

إنّ هذه الشــروط البيئية المتقلّبة - ليست بالضرورة المناخ البارد بحد ذاته - هي التي دفعت شيئا فشــيئا جماعات النياندرتاليين



بعث النياندرتاليين(*)

من المتوقع في نهاية عام 2009 أن يقوم الباحثون بقيادة <S. پآبو> [من معهد ماكس پلانك لعلم الإنسان التطوري في ليپزيگ بألمانيا] بنشر مخطط تمهيدي عن جينوم الإنسان النياندرتالي. فقد حثّ هذا العمل على التخمين أنّ العلماء سيكونون يوما ما قادرين على استعادة هذا الإنسان المنقرض. ومثل هذا العمل البطولي، إذا كان من الممكن حصوله تقانيا، سوف يطرح جميع أنواع المآزق الأخلاقية: فما هي الحقوق التي سيحصل عليها الإنسان النياندرتالي؟ وهل سيعيش هذا الإنسان في مختبر أم في حديقة حيوان أم ضمن أسرة؟

إذا وضعنا جانبا ما يقلق أخلاقيا، فماذا يمكن أن يكتشف الباحثون من بعث الإنسان النياندرتالي؟ والجواب هو: أقل ممّا يمكن أن تتوقع. فالإنسان النياندرتالي الذي يولد ويتربى في ظروف معاصرة لا يمكن أن يحوز على معرفة العصر الجليدي الموروثة لينقلها إلينا، مثل كيفية تصنيع الأدوات الحجرية **الموستيرية** Mousterian أو قتل وحيد القرن الصوفي. وفي الواقع، لن يكون قادرا على إخبار العلماء بأي شيء عن ثقافة شعبه. ومع ذلك، من الممكن أن تكشف دراسة بيولوجية ومعرفة الإنسان النياندرتالي عن الفروق المجهولة بين هذه الأقوام البشرية القديمة والأقوام الحديثة، والتي يمكن أن تكون قد أعطت الأقوام الحديثة مزية البقاء على قيد الحياة.

إلى **نقطة اللاّعودة**[1]، وفقا للســيناريوهات التــي وضعها الخبراء مثل <C. فينليســون> [عالم البيئة التطورية في متحف جبل طارق الذي يديــر الحفريات في مواقع متعددة من الكهوف في جبــل طارق. وهــذه التغيّرات اقتضت مــن النياندرتاليين أن يتبنوا طريقة جديــدة من الحيــاة في وقــت قصير جدا. وعلى ســبيل المثال، كما يزعم <فينليسون>، فإن إحلال الأراضي العشبية المفتوحة محل المســاحات الغابية (المشجرة) ترك صيادي الكمائــن من دون أشــجار للاختباء خلفها. وحتى يبقى النياندرتاليون على قيد الحياة، كان عليهــم أن يغيّروا الطريقــة التي كانوا يصطادون بها.

إنّ بعض النياندرتاليين تكيفوا بالفعل مع عالمهم المتغيّر، كما يشهد على ذلك التغيّر في نمط أدواتهم وحيوانات صيدهم. غير أنّ الكثير منهــم ماتوا على الأرجح خلال هذه التقلبات، تاركــين خلفهــم جماعات أكثر تشــتتا. وفي الظــروف العادية، كان هــؤلاء النياندرتاليون قادرين على العودة إلى حيويتهم ونشــاطهم، مثلما قاموا بذلك من قبل، عندما كانت التقلبات أقل عــددا وأكثر تباعدا. وفي هذا الوقت، مع ذلك، لم تترك ســرعة التغيّــرات البيئية وقتا كافيا للعــودة إلى حياتهم الســابقة. ويدّعي <فينليســون> أنّ الظــروف المناخية الســيئة المتكرّرة جعلــت أعداد أفــراد النياندرتاليين في آخر الأمر تتناقص إلى درجة لم يصبحوا معها قادرين على مساندة بعضهم بعضا.

ويتابــع <فينليســون> القــول إنّ نتائــج الدراســات الجينيــة التي نشــرتهــا <V. فابر> وزملاؤها [مــن جامعة مديترانيان Mediterranean بمرســيليا فــي «پلــوس وان PLoS One» في الشــهر 2009/4 ، تدعم الرأي أنّ أفــراد النياندرتاليين كانوا مشــتتين. فقد كشــف تحليل **الدنا المتقدّري** mitochondrial DNA للإنسان النياندرتالي عن إمكان تقسيم النياندرتاليــين إلى ثلاث مجموعــات ثانوية - مجموعــة أوروبا الغربيــة ومجموعة أوروبا

(*) Resurrecting the Neandertal
(1) the point of no return

الجنوبية وثالثة في آسيا الغربية ـ وكان حجم المجموعة يزيد وينقص.

نوع اجتياحي(*)

أمّا بالنسبة إلى الباحثين الآخرين، فإنّ حقيقة أنّ النياندرتاليين اختفوا تماما فقط بعد دخول أفراد الإنسان الحديث أوروبا تشير، مع ذلك بكل وضوح، إلى أن الغزاة لهم ضلع في الانقراض، حتى ولو لم يقتل القادمون الجدد المستوطنين الأقدم. ومن المحتمل، كما يقول أولئك الذين يدعمون هذه النظرة، أن يكون انقراض النياندرتاليين نتيجة لتنافسهم مع القادمين من أفراد الإنسان الحديث على القوت وتدريجيا على الأرض المهجورة. ومع ذلك، يبقى ما جعل أفراد الإنسان الحديث الطرف الرابح في آخر الأمر، موضوع اختلاف كبير في الرأي.

ثمة احتمال بأنّ أفراد الإنسان الحديث كانوا يقتاتون على ما كان يتيسّر لهم من طعام. إذ يشير التحليل الكيميائي لعظام الإنسان النياندرتالي الذي أجراه ‹H. بوشيرانز› [من جامعة توبنگن في ألمانيا] إلى أنّ البعض، على الأقل من هؤلاء النياندرتاليين، كانوا يفضلون أكل لحم الثدييات الكبيرة، مثل وحيدات القرن الصوفية، التي كانت نادرة نسبيا. بينما، في المقابل كان أفراد الإنسان الحديث المبكرون يأكلون جميع أنواع الحيوانات والنباتات. وهكذا، عندما اجتاح أفراد الإنسان الحديث معاقل النياندرتاليين وشرعوا في اصطياد بعض هذه الحيوانات الكبيرة لطعامهم، كما يحاول البعض أن يظهر، كان النياندرتاليون يواجهون المشاكل. وفي غضون ذلك، تمكن أفراد الإنسان الحديث من تكملة وجبات غذائهم المكونة من لحوم الحيوانات الكبيرة بتناول لحوم حيوانات أكثر صغرا، إضافة إلى قوت نباتي.

ويرى عالم الآثار ‹W .C. ماريان› [من جامعة ولاية أريزونا]: «أنّه كان للنياندرتاليين أساليبهم الخاصة للقيام بعمل ما، وكانت أساليب جيدة طالما لم يكونوا يتنافسون مع أفراد الإنسان الحديث.» وفي المقابل، يذكر ‹ماريان› أنّ الحديثين الذين تطوروا تحت شروط مدارية في إفريقيا، كانوا قادرين على التلاؤم مع بيئات مختلفة وتوصلوا بسرعة إلى أساليب مبتكرة للتعامل مع الظروف الجديدة التي تصادفهم. ويؤكّد ‹ماريان›: «أنّ الاختلاف الأساسي هو أنّ النياندرتاليين لم يكونوا تماما في مستوى التقدّم الفكري والمعرفي لأفراد الإنسان الحديث.»

لم يكن ‹ماريان› الوحيد الذي يعتقد أن النياندرتاليين كانوا أقل ذكاء. ثمة دراسة طويلة الأمد تدعم الرأي أنّ الحديثين تفوّقوا

[الافتراض الثاني]

هل كان أفراد الإنسان الحديث أكثر ذكاءً من أفراد الإنسان النياندرتالي؟(**)

تستمر نظرية انقراض النياندرتاليين القديمة بالاعتقاد أنّ أفراد الإنسان الحديث نافسوا النياندرتاليين بذكائهم الأعلى. غير أنّ الدليل المتزايد يشير إلى أنّ النياندرتاليين شاركوا في الكثير من السلوكيات المعقدة نفسها، والتي كانت تنسب سابقا إلى أفراد الإنسان الحديث فقط (*انظر الجدول*). إذ تكشف النتائج العلمية أنّ بعض النياندرتاليين على الأقل كانوا قادرين على التفكير الرمزي ـ بلغة. وأنهم كانوا يحوزون على الأدوات ويعرفون كيف يكافحون من أجل الحصول على تنوع واسع من الأطعمة. ويبدو أن هذه الممارسات لا تزال أكثر رسوخا في ثقافة الإنسان الحديث ممّا هي عليه في ثقافة النياندرتاليين وهذا ما أعطى الهيمنة لأفراد الإنسان الحديث.

أدلة سلوك الإنسان الحديث بين أفراد الإنسان النياندرتالي

ميّزة	شائع	عارضي	غير موجود	غير مؤكّد
فن				✓
استخدام الأصبغة	✓			
مجوهرات		✓		
دفن رمزي للميت				✓
مقايضة بين الأماكن البعيدة				✓
أدوات حجرية		✓		
رؤوس حادة شائعة			✓	
أدوات عظمية		✓		
شفرات		✓		
إبر			✓	
استثمار الموارد البحرية		✓		
صيد الطيور		✓		
تقسيم العمل			✓	

سكين

سن من قلادة متدلية

مخرز عظمي

فك فقمة

(*) Invasive Species

(**) Were the Neandertals Outsmarted by Modern Humans?



يمكن أن يكون آخر معقل لأفراد الإنسان النياندرتالي مجموعة من الكهوف الشاطئية في أراضي جبل طارق البريطانية، حيث عاشت الأقوام البشرية القديمة حتى قبل 28 000 سنة. كان لمنطقة جبل طارق وباقي شبه الجزيرة الإيبيرية مناخ لطيف نسبي وموارد غذائية غزيرة مقارنة بالكثير من مناطق أوروبا خلال العصر الجليدي.

في الذكاء على النياندرتاليين، ليس فقط بتقانة أدواتهم الأفضل ونهجهم في البقاء على قيد الحياة، وإنما أيضا في موهبة الكلام التي ساعدتهم على تشكيل شبكات اجتماعية أقوى. ووفقا لهذا الرأي، لم يستطع النياندرتاليون الأغبياء أن يصمدوا أمام القادمين الجدد.

غير أن زيادة حجم الأدلة تشير إلى أنّ النياندرتاليين كانوا أذكى ممّا دلّت عليه سمعتهم. فقد شاركوا على ما يبدو في الكثير من السلوكيات التي كان يُعتقد أنّها سلوكيات أفراد الإنسان الحديث. «فالحدود بين النياندرتاليين والحديثين، كما يضعها ‹B .C. سترنگر› [عالم الإنسان القديم في متحف التاريخ الطبيعي بلندن]، أصبحت أكثر غموضا.»

وفرت مواقع جبل طارق بعض المكتشفات الأكثر حداثة التي تضفي غموضا حول الحدود بين المجموعتين البشريتين. ففي الشهر 2008/9، أشار ‹سترنگر› وزملاؤه إلى أنّ النياندرتاليين في **كهف گورهام** Gorham's Cave **وكهف ڤانگارد** Vanguard Cave المجاور، كانوا يصطادون الدلافين والفقمات، إضافة إلى المحار. وإضافة إلى ذلك، فقد بيّن بحث غير منشور أنّهم كانوا يأكلون الطيور والأرانب أيضا. وقد قلبت الاكتشافات في جبل طارق، إضافة إلى نتائج الأبحاث من عدد من المواقع الأخرى، الاعتقاد السائد أن الحديثين هم الوحيدون الذين استثمروا الموارد البحرية والحيوانات الصغيرة والطيور.

ثمة دليل جديد، جاء من موقع «هول فلز Hohle Fels» في جنوب غرب ألمانيا، حول الحدود الغامضة بين سلوك الإنسان النياندرتالي وسلوك الإنسان الحديث. فهناك استطاع عالم الإنسان القديم ‹B. هاردي› [من كينيون كوليج Kenyon College] مقارنة الأدوات الصوانية ـ التي صنّعها النياندرتاليون الذين كانوا يقيمون في الكهوف في الفترة الممتدة بين ما قبل 36 000 و 40 000 سنة ـ بالأدوات الصوانية التي صنّعها أفراد الإنسان الحديث الذين كانوا يقطنون هناك بين ما قبل 33 000 و 36 000 سنة تحت شروط مناخية وبيئية متماثلة. وفي محاضرة ألقاها ‹هاردي› في الشهر 2009/4 في جمعية علم الإنسان القديم في شيكاگو، ذكر أنّ تحليله لشكل الاهتراء على الأدوات الصوانية والبقايا من المواد التي كانت بتماس معها، كشف أنّه – على الرغم من أنّ أفراد الإنسان الحديث قد صنّعوا تنوعا كبيرا من الأدوات أكثر ممّا صنّع النياندرتاليون – فإنّ المجموعتين تشاركتا، على الأغلب، في النشاطات نفسها في موقع «هول فلز.»

وهذه النشاطات تتضمّن ممارسات معقّدة مثل استخدام صموغ الأشجار في ربط رؤوس الأحجار بمماسك خشبية واستخدام رؤوس الأحجار كأسلحة طعن أو قذف وتصنيع أدوات من العظام أو من الخشب. وللإجابة عن السؤال لماذا صنع نياندرتاليو «هول فلز» أنماطا من الأدوات أقلّ ممّا صنعه أفراد الإنسان الحديث، والذين عاشوا هناك فيما بعد، استنتج ‹هاردي› أنّهم كانوا قادرين على إنجاز العمل من دونهم. ويذكر: «إنّنا لسنا بحاجة إلى ملعقة گريب فروت لنأكل ثمرة من ثمار الگريب فروت.»

يبدو أنّ الادعاء أنّ النياندرتاليين كانوا يفتقرون إلى اللغة أيضا هو افتراض غير محتمل في ضوء الاكتشافات الحديثة. فالباحثون يعرفون الآن أن بعضهم على الأقل زَيَّنوا أجسامهم بالمجوهرات، وعلى الأرجح بالأصبغة. ومثل هذه المظاهر الطبيعية من

السلوك الرمزي كانت تستخدم في الغالب **كتعويض** proxy عن اللغة، عندما يعاد بناء السلوك من السجل الآثاري (الأركيولوجي). وفي عام 2007، روى الباحثون بقيادة <J. كراوس> [من معهد «ماكس پلانك» لعلم الإنسان التطوري في لايپزيگ بألمانيا] أنّ تحاليل الدنا النياندرتالي قد بيّنت أنّ هؤلاء الأفراد من البشر كانت لهم النسخة من الجينة *FOXP2* الداعمة للكلام (اللغة) التي يحملها أفراد الإنسان الحديث.

مباريات فاصلة(*)

مع تضييق التفاوت بين سلوك الإنسان الحديث والنياندرتالي، يدرس الكثير من الباحثين الآن الاختلافات الصغيرة بينهما في المعرفة والبيولوجيا لتفسير سبب انقراض النياندرتاليين. وتعتبر <K. هارڤاتي> [المتخصصة بعلم الإنسان القديم في معهد «ماكس پلانك» أيضا] «أنّ عدم استقرار الشروط المناخية إلى أبعد الحدود وتحوّلها إلى درجة أسوأ، ربّما جعل التنافس بين مجموعات البشر على أشده، ففي هذا الصدد، تصبح حتى المزايا الصغيرة مهمة جدا ويمكن أن ترجح أحد احتمالين: البقاء على قيد الحياة أو الموت».

يطرح <سترنگر> من جهته نظرية مفادها بأنّ التكيّف الثقافي الأوسع نوعا ما للإنسان الحديث زوده بحماية مخففة قليلا ضد الأوقات العصيبة. وعلى سبيل المثال، فإنّ الإبر التي تركها أفراد الإنسان الحديث تعطي إشارة إلى أنهم كانوا يستخدمونها في خياطة الثياب والخيام؛ وذلك لحمايتهم من البرد. بينما لم يخلّف النياندرتاليون وراءهم مثل هذه الإشارات التي تدل على أنهم كانوا يستخدمون الخياطة؛ وكما يعتقد بعض الباحثين، كانت لديهم ملابس وملاجىء أكثر بساطة.

ويمكن أن يختلف النياندرتاليون والحديثون أيضا في الأسلوب الذي كان أفراد مجموعاتهما يتقاسمون به المهام. وفي بحث نشر في مجلة *كارنت أنثروپولوجي* عام 2006، افترض كل من عالمي الآثار <L. S. كوهن> و <M. C. ستينر> [من جامعة أريزونا] أنّ النظام الغذائي المختلف للأوروبيين الحديثين الأوائل يدعم تقسيم العمل، حيث كان الرجال يقومون بصيد الحيوانات الكبيرة، والنساء يقمن بجمع وتحضير الجوز والبذور وتوت العليق. وعلى النقيض من ذلك، فإن تركيز النياندرتاليين على صيد الحيوانات الكبيرة يشير على الأرجح إلى انضمام نسائهم وأطفالهم إليهم في الصيد، ربّما ليساعدوهم على سَوْقِ الحيوانات نحو الرجال المنتظرين في كمائنهم. وإنّه بإحداث إمدادات إضافية أكثر وثوقا من الطعام مع بيئة أكثر أمانا لتربية الأولاد، يمكن أن يكون تقسيم للعمل قد سمح لأفراد الإنسان الحديث بالتكاثر على حساب النياندرتاليين.

ومع ذلك، كان النياندرتاليون يحصلون على طعامهم، وكانوا يحتاجون إلى الكثير منه. «كان النياندرتاليون رجال المهام الصعبة في عالم البشر»، هذا ما ذكرته الباحثة في علم الإنسان القديم <L. أيِّلو> [من مؤسسة «وينر-گرين» في مدينة نيويورك]. فاستنادا إلى عدد من الدراسات التي كانت تهدف إلى تقدير معدلات الاستقلاب لدى النياندرتاليين، تم التوصل إلى النتيجة بأن أولئك الأفراد من البشر القدماء كانوا يحتاجون إلى عدد من السعرات الحرارية (الكالوريات) للبقاء على قيد الحياة أكثر ممّا كان يتطلّبه أفراد الإنسان الحديث.

لقد حدّدت الخبيرة في **علم الطاقة البشرية**[1] <K. ستيودل- نامبرز> [من جامعة ويسكونسن- ماديسون]، مثلا، أنّ التكلفة الطاقية للتحرّك كانت لدى النياندرتاليين أعلى بنسبة 32% من الناحية التشريحية عمّا كانت عليها لدى أفراد الإنسان الحديث، بسبب بُنية أجسام هؤلاء البشر القدماء الضخمة وقصر عظم الظنبوب (عظم الساق الأطول) الذي ربّما قصّر مدى خطواتهم. وتعبيرا عن احتياجاتهم الطاقية اليومية، ربّما كانت احتياجات

(*) Tiebreakers
(1) Hominid energetics

التتمة في الصفحة 37

المحافظة على خلايا الدماغ الجديدة(*)

تظهر كل يوم نورونات(١) جديدة في أدمغة البالغين. وتشير موجة جديدة من الأبحاث إلى أن هذه الخلايا تُعزّز ـ في آخر المطاف ـ عملية التعلم المتعلقة بأداء مهام معقدة، وأنها تزداد نموا ونشاطا بقدر ما تتعرض له من تحديات.

<J.T. شورز>

مفاهيم مفتاحية

- يتم توليد آلاف الخلايا النورونية في دماغ البالغين كل يوم، وبصورة خاصة في منطقة الحصين «الهيپوكامپوس» المعروفة بتدخلها في عملية التعلم ووظيفة الذاكرة.
- إلاّ أن معظم هذه الخلايا تموت في غضون أسبوعين، ما لم يتعرضِ الحيوان لتحدّيات تدفعه إلى تعلّم أمور جديدة. فالتعلّم ـ وخاصة عندما يتطلب بذل جهد كبير ـ يُمكنه أن يضمن بقاء هذه النورونات الجديدة على قيد الحياة.
- ومع أن النورونات لا تبدو ضرورية في معظم حالات التعلم، إلا أنها تؤدي دورا مهما في عمليات التنبؤ بالمستقبل بناءً على الخبرات السابقة. ولذا، فإن تعزيز عملية تشكل نورونات جديدة من شأنه أن يساعد على إبطاء تراجع القدرات الاستعرافية ويحافظ على بقاء الأدمغة الطبيعية سليمة.

محررو ساينتفيك أمريكان

لعلك قد صادفت أثناء مشاهدتك التلفاز، أو قراءتك إحدى المجلات أو تصفحك الإنترنت، إعلانات تحثّك على تدريب عقلك. وهناك العديد من البرامج المتخصصة بتمرين الدماغ التي تشجع الناس على المحافظة على رشاقتهم الذهنية، وذلك من خلال تدريب أدمغتهم يوميا على القيام بنشاطات شتى؛ بدءا من استذكار القوائم وحل الأحجيات إلى تقدير عدد الأشجار في حديقة عامة كبيرة.

وقد يتراءى لنا في هذا المشهد شيء من الاحتيال، إلاّ أن مثل هذه البرامج قد يكون لها أساس صحيح في **البيولوجيا العصبية** neurobiology، حيث يشير عمل بحثي جديد، وإن كان معظمه على الجرذان، إلى أن عملية التعلّم تعزز بقاء النورونات التي تنشأ حديثا في دماغ البالغين، وأنه كلما كانت المعضلة التي تعترض هذه النورونات أكثر تحدّيا وجاذبية، ازداد عدد ما يتبقى منها على قيد الحياة.

ولعل الغاية من وجود هذه النورونات تحت تصرفنا، هي تقديم الدعم لنا في الحالات التي تتعرض عقولنا فيها لأكبر الأعباء. ولهذا، فإن التدريب الذهني يبدو وكأنه يقوم بصقل الدماغ، تماما كما تفعل التمارين الرياضية بعضلات الجسم. وما يثير الاهتمام أكثر من ذلك، هو أن نتائج العمل البحثي المذكور أتت لتقدم دعما لفكرة أن الأشخاص الذين هم في المراحل المبكرة من مرض **ألزهايمر**(٢) Alzheimer أو الذين يعانون أشكالا أخرى من **الخرف** dementia يستطيعون إبطاء عملية تراجع **قدراتهم الاستعرافية**(٣)، إذا ما استمرت عقولهم تعمل بصورة فعّالة.

إنه نورون جديد!(**)

في تسعينات القرن الماضي، هَزَّ العلماء حقل البيولوجيا العصبية بأنباء مفاجئة تفيد بأن الدماغ عند الثدييات الناضجة، قادر على «**تشكيل نورونات جديدة**.»(٤) لقد اعتقد علماء البيولوجيا ولمدة طويلة أن هذه القدرة على «توليد النورونات» مقتصرة على الأدمغة

(*) SAVING NEW BRAIN CELLS
(**) It's a New Neuron!
(١) يضم الجهاز العصبي المركزي نوعين من الخلايا العصبية (العصبونات): النورونات ومفردها نورون (neuron) والخلايا الدبقية glia. تنقل الأولى المعلومات وتعالجها وتكودها وتحفظها وتتذكرها. وهي عمليات تشكل الأساس الجزئي الخلوي لوظائف الدماغ الحسية والحركية والذهنية. أما الخلايا الدبقية، فهي خلايا داعمة للنورونات وتؤدي وظائف استقلابية ومناعية وليس لها علاقة مباشرة بالوظائف الدماغية المذكورة. عندما يرد مصطلح «الخلية العصبية أو الخلية الدماغية» أو العصبون في النص، فإن المقصود بذلك هو النورون (neuron).
(٢) يعود اسم المرض إلى الأكاديمي والطبيب الألماني (Alois Alzheimer) الذي اكتشفه عام 1906. وتُلفظ كلمة (Alzheimer) بالألمانية (ألتسهايمر).
(٣) cognitive abilities
(٤) neurogenesis : أو التشكل النوروني. (التحرير)

الفتية النامية، وأنها تُفْقَد مع التقدم في السن. إلاّ أن <E. گولد> استطاعت أن تُبرهن، في مستهل تسعينات القرن العشرين وقد كانت عندئذ في جامعة روكفيلّر، على ظهور نورونات جديدة في دماغ البالغين أيضا؛ وبصورة خاصة في المنطقة المعروفة باسم **الحصين**[1] (**هيپوكامپوس** hippocampus) والتي تؤثر في عملية التعلّم ووظيفة الذاكرة. وسرعان ما ظهرت تقارير مماثلة عن تجارب لاحقة، تابعت هذا الاكتشاف وأُجريت على أنواع أخرى من الحيوانات، بدءا من الفئران وحتى **قردة القشة** marmosets. وفي عام 1998، أثبت علماء الجهاز العصبي في الولايات المتحدة والسويد أن عملية تشكل نورونات جديدة يُمكن أن تظهر عند الإنسان أيضا [انظر: «*خلايا عصبية جديدة لأدمغة البالغين*»، **العلوم**، العددان 6/5 (2000)، ص 30].

عادة ما تتضمن الدراسات المتعلقة بظاهرة «تشكل نورونات جديدة» عند القوارض حقن هذه الحيوانات بعقار يدعى «بروموديوكسيوريدين» BrdU[2]، والذي يقوم بوسم الخلايا النورونية الجديدة، ويجعلنا قادرين، حينئذ، على تمييزها جيدا بواسطة الميكروسكوب (المجهر). وتشير هذه الدراسات إلى أن النورونات الجديدة التي تنشأ يوميا في منطقة الحصين عند القوارض يتراوح عددها بين 5000 و 10 000 خلية (ومع أن الحصين عند الإنسان، يستقبل أيضا نورونات جديدة، لكننا لا نعرف عددها حتى الآن).

إلاّ أن هذه الخلايا لا تتولد بشكل روتيني، بل يمكن أن يتأثر إنتاجها بعدد من العوامل البيئية المختلفة. فقد تبين على سبيل المثال، أن استهلاك الكحول يُبطئ عملية توليدها، وأن التدريب يمكن أن يرفع من معدل ولادتها. فالجرذان والفئران التي تمضي وقتا على عجلة الركض، مثلا، تُنتج ضعف عدد الخلايا التي تُنتجها فئران تعيش حياة خاملة. حتى إن تناول **التوت البري الأزرق** blueberries يبدو أنه يُحرّض على توليد النورونات في حصين الجرذان.



استخدمها وإلا ستفقدها[*]

يمكن أن يساعد التدريب وفعاليات أخرى على إنتاج خلايا دماغية إضافية. إلا أن استمرار هذه الخلايا بالبقاء ليس أمرا حتميا. فالعديد منها، إن لم يكن معظمها، يختفي في غضون عدة أسابيع من ظهوره. وغني عن القول، إن معظم خلايا الجسم لا تستمر بالبقاء لفترة غير محدودة. ولذا، فإن فكرة موت هذه الخلايا النورونية بحد ذاتها ليست مستغربة. إلا أن زوالها

(*) Use It or Lose It

(1) يُفضل استخدام الكلمة المعربة «هيپوكامپوس» على الترجمة العربية «حصين البحر» لقربها من المصطلح العالمي.

(2) bromodeoxyuridine

[الأساسيات]

أين تتشكل النورونات الوليدة الجديدة(*)

تنشأ في دماغ البالغين نورونات جديدة في منطقة الحصين، وهي بنية تتدخل في التعلم والذاكرة. ومع أن هذا الاكتشاف كان أصلا عند القوارض، إلاّ أنه تم بعد ذلك اكتشاف نورونات وليدة عند الإنسان البالغ أيضا. وبتحديد أكثر، فإن مجموعة النورونات الوليدة تظهر في التلفيف المسنن dentate gyrus، وهو جزء من منطقة الحصين مُعلّم في مقاطع الدماغ في أيسر الصورة.

دماغ الإنسان

مقطع عرضي للحصين

التلفيف المسنن

الحصين

إن المهام التي تنقذ أكبر عدد من النَورونات الوليدة هي المهام الأصعب تعلما.

السريع هو ما يُعتبر مُحيِّرا. فلماذا يتكبّد الدماغ عناء إنتاج خلايا جديدة ثم يتركها تختفي بهذه البساطة؟

وكنتيجة لعملنا على الجرذان، أصبحنا نعتقد أن تلك الخلايا يتم توليدها لتُستخدم عند الحاجة فقط. فإذا تعرضت الحيوانات لتحديات استعرافية، فإن الخلايا تستمر بالبقاء، وإذا لم تتعرض لذلك فإنها تتلاشى. وفي عام 1999، اكتشفت مع <گولد> [تعمل حاليا في جامعة پرنستون] هذه الظاهرة عندما كنا نجري سلسلة من التجارب لدراسة تأثير التعلم في بقاء النورونات الجديدة في حُصين أدمغة الجرذان.

تُسمى مهمة التعلم التي استخدمناها **تتبع طَرْف العين الشرطي**(1) (*انظر المؤطر في الصفحة 24*)، وهي شبيهة في بعض جوانبها بالتجارب التي أجراها پاڤلوف على كلابه التي كانت تقوم بإفراز اللعاب عند سماعها الصوت المرتبط بتقديم الطعام. وفي تجربة «طَرْف العين الشرطي»، يسمع الحيوان صوتا، ثم يتلقى بعد مدة زمنية محددة (عادة 500 ميلّي ثانية أي نصف ثانية) تنبيها لطيفا لجفن العين، نفخة هواء مثلا، مما يجعله يَطْرف بعينه.

وبعد عدد كاف من المحاولات - عدة مئات عادة - يقوم الحيوان بإجراء ربط ذهني بين الصوت وتنبيه العين: فهو يتعلم مهارة التنبؤ بوقت وصول المنبه والقيام بطرف عينه قُبيل حدوث التنبيه. هذه الاستجابة المشروطة تدل على أن الحيوان قد تعلم أن يربط زمنيا الحدثين معا. قد تبدو هذه المهارة التي تعلمتها الجرذان عديمة الأهمية، إلا أن إعداد التجربة بهذا الترتيب يزودنا بوسيلة جيدة لقياس **التعلم الاستباقي**(2) عند الحيوانات؛ وهو القدرة على توقع ما سيحدث في المستقبل بناء على ما حدث في الماضي.

لدراسة الصلة بين التعلم و«نشوء نورونات جديدة»، حُقنت جميع الحيوانات بالعقار BrdU في بداية التجارب. وبعد أسبوع تم إدخال نصف عدد الجرذان في البرنامج التدريبي المتعلق بطرف العين، أما النصف الآخر فبقي يستريح في أقفاصه.

(*) WHERE NEW NEURONS FORM
(1) trace eyeblink conditioning
(2) anticipatory learning

المؤلفة



Tracey J.Shors

أستاذة في قسم علم النفس ومركز العلوم العصبية المشترك في جامعة روتگرز، تهتم منذ زمن طويل بدراسة الأساس البيولوجي العصبي للتعلم والذاكرة، وتعمل مع <E. گولد> [من جامعة پرنستون] مكتشفة ظاهرة «نشوء نورونات جديدة» عند البالغين. لقد بينت <شورز> أن التعلم يعزز بقاء النورونات الجديدة في الحصين، وأن هذه النورونات تتدخل، على ما يبدو، في بعض نواحي التعلم. وبعد نحو عشر سنوات، ما زالت <شورز> تفكر مليًا في السؤال التالي: ما هي علاقة التعلم بظاهرة «نشوء نورونات جديدة؟»

خــلال 50 ميلّي ثانية مــن تنبيه جفن العين، ونجحت في تكرار ذلك، كما ينبغي، في أكثر من 60 في المئة من المحاولات. وقد تســاءلنا مؤخــرا عمّــا إذا تمكنت الحيوانــات التي فشــلت في التعلم، أو التــي تعلمت بصورة رديئة، من الاحتفاظ بنوروناتها الجديدة بعد التدريب؟ إنهــا لم تنجح في ذلك، فقد أثبتت مجموعة من الدراسات التي نُشرت في عام 2007 أن الجرذان التي مرت بما يقارب 800 محاولة، ولــم تتعلم مهارة التنبؤ بتنبيه جفن العــين، لم تتمكن من الاحتفاظ إلاّ بعدد قليل مــن النورونــات الجديدة لا يتجــاوز العدد الذي حافظت عليه الحيوانات التي لم تغادر أقفاصها على الإطلاق.

وفي تجارب أخرى مماثلة، قمنا بتحديد فترة تعلــم الحيوانات مهــارة التنبؤ بتنبيه جفــن العين. فدربناها ليوم واحد فقط، حيث قامت بتنفيــذ 200 محاولة لأداء مهمتها كما ينبغي. وقد كانت النتيجة هي أن بعض هذه الحيوانــات نجحت في تعلم مهــارة التنبؤ، وبعضهــا الآخر لــم ينجح في ذلــك. وكما ذكرنا ســابقا، فإن الجــرذان، التي تعلمت، احتفظت بعــدد من نوروناتها الجديدة يفوق العدد الذي حافظت عليــه الجرذان التي لم تتعلم، وذلك على الرغم من أنها مرّت جميعا بالتدريب نفسه. وتُشير هذه البيانات إلى أن عملية التعلم هي المســؤولة عن بقاء عدد من النورونات الجديــدة على قيد الحياة، وليس مجرد القيــام بالتدريب أو وضع الحيوانات في قفــص آخر مختلــف أو تغييــر روتين حياتها اليومية.



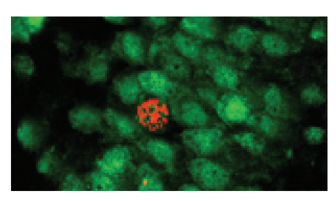
إن الصورة الميكروية (في *اليسار*) تظهر الحصين لفأر قزحي الدماغ Brainbow تمت هندسته لينتج پروتينات ذات ألوان مختلفة في نوروناته.

وبعد أربعة أو خمسة أيام من التدريب وجدنا أن الجرذان التي تعلمت توقيت طرف عينها كما ينبغــي احتفظت بعدد مــن نوروناتها الموســومة بالعقار BrdU في الحصين أكبر من العدد الذي احتفظت به الحيوانات التي بقيت بحالة خمول في أقفاصها الأمر الذي اســتنتجنا منه أن تعلم هــذه المهارة كان ســببا في إنقاذ تلك خلايا، ولولاه لما بقيت علــى قيد الحياة. أمّا لــدى الحيوانات غير المدربة، فلم نتمكن، في النهاية، إلاّ من رؤية عدد ضئيل مــن الخلايا الحديثة النشــوء والموســومة بالعقار BrdU. وقد اســتنتجنا أيضا أنه كلما تعلم الحيوان بصورة أفضل ازداد عــدد النورونات الجديــدة التي تبقى على قيد الحيــاة في دماغــه. وتنطبق هذه القاعــدة أيضا على الحيوانات التي نجحت في تعلم اجتياز متاهة.

لقــد بدأنا اختباراتنا حــول طرف العين في أواخر تسعينات القرن الماضي، فدرسنا آثــار التدريــب عند الحيوانــات التي كانت تعلمت بصورة جيدة؛ وهــي جرذان تعلمت القيام بطرف عينها، لنقل، على سبيل المثال،

منظر نورونات وليدة(*)

توسم المادة الكيميائية BrdU الخلايا المولودة بعد حقن الحيوان بهذه المادة. وتُبرز الصورة في الأسفل خلية وليدة وحيدة حمراء اللون بفعل المادة BrdU، وتدل النقاط الخضر في داخلها على أنها خلية نورونيّة. ويحيط بالخلية الوليدة نورونات ناضجة.



لا ربح بلا مجهود(**)

مع أن التعلم يشكل شرطا أساسيا لبقاء النورونــات الوليدة في منطقة الحصين على قيد الحياة، فإن بعض نماذجه ليس له تأثير يُذكر في مصير تلك النورونات. ومن الدلائل علــى ذلك، هــو أن تدريــب الحيوانات على

(*) VIEWING NEW NEURONS
(**) No Pain, No Gain

يبدو أن هناك مجالا زمنيا حاسما يستطيع التعلم فيه الحفاظ على النورونات الجديدة.

العبور سباحةً إلى منصة مرئية في حوض من الماء لا يحول دون زوال الخلايا النورونية الوليدة في أدمغتها. كما أن تدريبها بطريقة تجعلها تعرف أنها تتلقى اثنين من المنبهات بشكل متزامن تقريبا، كالصوت ومنبه جفن العين مثلا، لا يُطيل عمر تلك الخلايا.

والسبب في فشل مهام التعلم هذه في الحفاظ على حياة النورونات الوليدة، هو أنها، على ما نظن، لا تتطلب تفكيرا عميقا. ففي تجارب تنبيه جفن العين التي يتداخل فيها زمنيا المنبهان (سماع الصوت/تنبيه جفن العين)، لا تُتيح عملية التعلم للحيوان فرصةً لتشغيل ذاكرته بطريقة تضمن حفظ المعلومات المتعلقة بحدث سبق وقوعه (سماع صوت النغمة) وبالتالي لا تساعده، على التنبؤ بزمن وقوع حدث آخر يتداخل زمنيا مع الحدث الأول (تنبيه جفن العين). فالحيوانات تستجيب مباشرة ومن غير أن تفكر مليا، عندما تسمع الصوت. وعلى النحو ذاته، فإن السباحة إلى منصة مرئية هي مهمة تؤديها الجرذان بلا تردد، لأنها لا تريد سوى النجاة من الغرق.

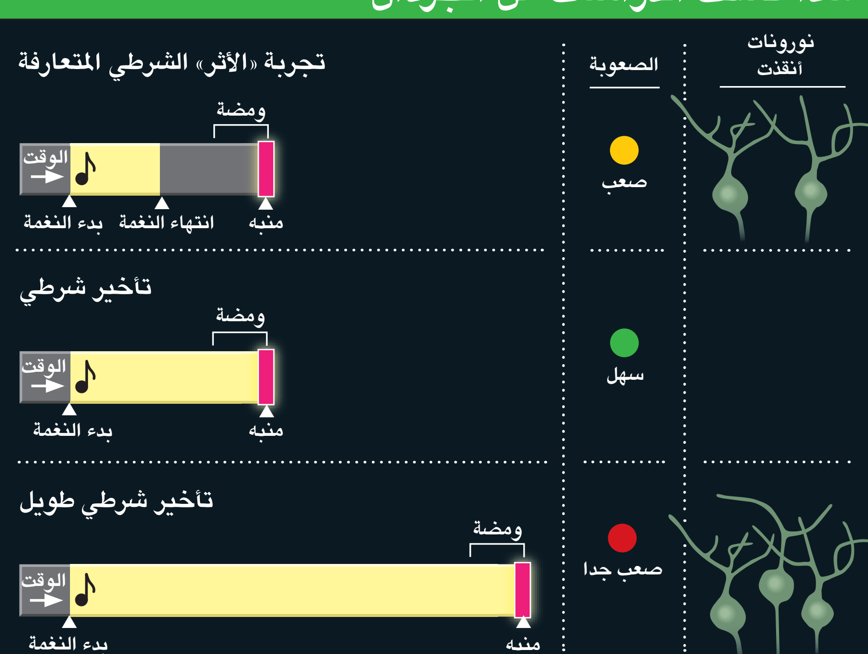
ونحن نعتقد أن المهام التي تنقذ أكبر قدر من الخلايا العصبية النورونية الجديدة هي تلك المهام الأصعب تعلّما، والتي يتطلب أداؤها بذل مجهود ذهني هائل. ولاختبار هذه الفرضية، قمنا بتعديل مهمة سهلة الإنجاز إلى حد ما، وجعلناها أكثر تحديا بقليل، حيث بدأنا باختبار طرف العين بإحدى صيغه البسيطة، وهي صيغة يسبق فيها الصوت تنبيه جفن العين، ولكنه يتداخل معه في الزمن قليلا. وكما ذكرنا سابقا، فإن عملية تعلم الربط بين هاتين الواقعتين لا تُنقذ عادة النورونات الوليدة. ومن ثم، جعلنا هذه المهمة أكثر تحديا وذلك بإطالة المدة الزمنية للنغمة الصوتية بقدر كبير، وكان تنبيه الجفن يأتي في نهايتها.

[اختبارات التعلم]

ماذا كشفت الدراسات عن الجرذان(*)

اعتمدت المؤلفة وزملاؤها على تجارب طرف العين الشرطي eyeblink conditioning لاكتشاف أن بذل جهد كبير للتعلم من شأنه تعزيز بقاء النورونات الجديدة على قيد الحياة. وقد بدأ الباحثون تجاربهم بتجربة الأثر الشرطي المتعارفة (*في الأعلى*)، حيث يسمع الحيوان في هذه التجربة نغمة صوتية يتبعها بعد نصف ثانية تنبيه يدفع الحيوان إلى الطرف بعينه. وبعد مئات عدة من المحاولات، تتعلم أغلبية الحيوانات أن تطرف بعينها قُبيل وصول المنبه. ولأن النغمة الصوتية وتنبيه جفن العين حدثان منفصلان زمنيا، فإن معرفة لحظة طرف العين هي مهمة صعبة، ولأنها كذلك فقد أنقذت جزءا كبيرا من النورونات الجديدة.

لقد أنجزت الجرذان بسهولة مهمة الاختبار بإحدى صيَغه المُبسَّطة، حيث تتداخل فيه النغمة الصوتية مع منبه طرف العين زمنيا (*في الوسط*)، ولكن لم تعزز هذه المهمة بقاء النورونات الجديدة إلا بعد تغيير شروط الاختبار وجعله أكثر تحديا، وذلك من خلال إطالة فترة انتظار الجرذ كثيرا قبل وصول المنبه (*في الأسفل*). وقد أنقذت هذه المهمة جزءا كبيرا من النورونات الوليدة، وتفوقت حتى على مهمة الاختبار الشرطي المتعارفة.

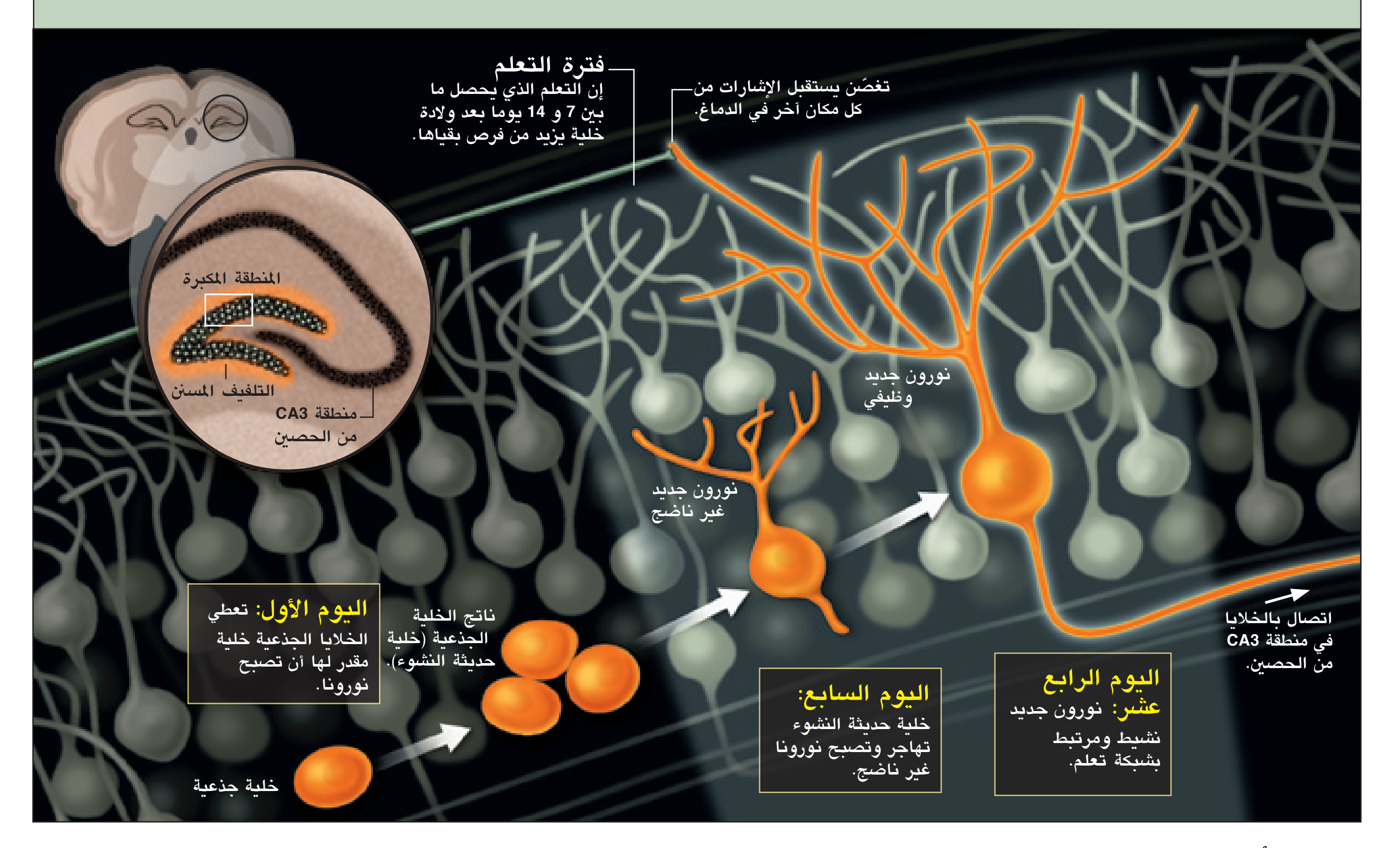


WHAT RAT STUDIES REVEALED (*)

[فرضية]

كيف يعزز التعلم بقاء النورونات الوليدة(*)

في أسبوعها الأول، تهاجر النورونات الوليدة من حافة التلفيف المسنن dentate gyrus إلى منطقة أعمق، حيث تنضج وتندمج في شبكة نورونية. وعندما يحصل التعلم في الأسبوعين الأولين من عمر النورونات الوليدة، فإنه يُعزِّز بقاءها، ربما من خلال تحريض النورونات الموجودة مُسبقا، فتقوم بدورها، ببثِّ إشارات داعمة لنضج الخلايا الفتية. وفي غياب التعلم أثناء مرحلة النضوج (مرحلة نضج النورونات الوليدة)، فسيموت معظم الخلايا الجديدة في منطقة الحصين.



إن تعلُّم توقيت لحظة القيام بطرف العين في هذه المهمة هو أكثر صعوبة من الاختبار البسيط، فالقيام بطرف العين بعد بدء النغمة الصوتية بقليل، كانطلاق العدّائين بعد سماعهم صوت رصاصة بدء السباق، ليس هو الاستجابة الصحيحة. كما أنه أكثر صعوبة من الاختبار النموذجي (اختبار أثر الخمسمئة ميلي ثانية)؛ لأن الحيوان لا يستطيع استعمال نهاية النغمة الصوتية كإشارة **للاستعداد**(1)، بل ينبغي عليه الاستمرار بتتبع النغمة الصوتية منذ بدايتها بدقة وتقدير متى سيحدث تنبيه جفن العين، الأمر الذي يشكل تحديا حقيقيا لجميع الحيوانات بما فيها البشر. وقد وجدنا أن هذا التحدي كفيل بإنقاذ عدد من النورونات الوليدة يساوي أو يربو أحيانا على العدد الذي شاهدناه في الاختبار النموذجي.

ومما أثار اهتمامنا بوجه خاص، هو أن الحيوانات التي كانت أبطأ تعلما بقليل، أي إنها احتاجت إلى عدد أكبر من المحاولات قبل أن تنجز مهمتها كما ينبغي، تمكنت من إنقاذ عدد أكبر من النورونات الوليدة مقارنة بنظيراتها التي كانت أسرع تعلما. ويُشير ذلك إلى أن النورونات الوليدة في الحصين تستجيب، على أفضل وجه، لعمليات التعلم التي تنطوي على جهود مكثّفة.

التوقيت يدخل في الحساب(**)

لماذا نعتبر عمليات التعلم التي تنطوي على جهود مكثّفة أمرا حاسما في الحفاظ على النورونات الوليدة هو أمر غير واضح

(*) HOW LEARNING HELPS TO SAVE NEW NEURONS
(**) Timing Counts
(1) get ready

ماذا يفيد وماذا يضر(*)

تعزز عملية التعلم بقاء الخلايا النورونية الجديدة، ولكنها لا تؤثر في عدد ما يولد منها.

وبعض الدراسات تشير إلى وجود مداخلات أخرى من شأنها أن تؤثر في توليد النورونات لدى القوارض.

منشطات BOOSTERS



التدريبات الجسمانية والعقلية

مضادات الاكتئاب

العنب البرّي الأزرق

مُعيقات BLOCKERS

الكحول



النيكوتين

هل يُمكن استثمار التشكل النوروني، بطريقة أو بأخرى، للوقاية من الاضطرابات المؤدية إلى تراجع القدرات الاستعرافية أو معالجتها؟

حتى الآن. وهناك نظرية تقول إنّ المهام التي يتطلّب تعلم أدائها تفكيرا عميقا أو زمنا أطول من التدريب تقوم بتنشيط قوي لنورونات الشبكات العصبية في منطقة الحصين، بما فيها النورونات الوليدة التي تشكل جزءا من بنية هذه الشبكات. وهذا التنشيط القوي هو مفتاح الحفاظ على حياة هذه الخلايا الوليدة. وإنني، أكثر ميلا إلى ترجيح هذه النظرية على غيرها لسببين:

يعود السبب الأول إلى ما أثبته عدد من الباحثين وفحواه أن المهام المبنية على التعلم، مثل اختبار طرف العين الشرطي، ترفع بصورة عامة درجة استثارة النورونات في الحصين وتجعلها أكثر فعالية. إضافة إلى ذلك، فإن هذا النشاط السريع والمتعدد الجوانب في منطقة الحصين يرافق باستمرار عمليات التعلم؛ فالحيوانات الأكثر نشاطا هي التي تتعلم أداء مهمتها على الوجه الأفضل.

أما السبب الثاني؛ فيتعلق بوجود ما يُدعى **الإطار الزمني الحاسم**[1] وهو المدة الزمنية التي يمكن خلالها لعملية التعلم أن تحافظ على بقاء النورونات الوليدة اعتبارا من لحظة ظهورها، وتُقدّر بأسبوع إلى أسبوعين عند القوارض. وقد توصلت دراسة حديثة أُجريت على الجرذان إلى نتائج مشابهة، حيث وجدت أن التعلم من شأنه إنقاذ نورونات وليدة لا تتجاوز أعمارها سبعة إلى عشرة أيام. ولكن لا جدوى من التدريب بعد مضي ذلك الوقت حيث تكون النورونات الوليدة قد بدأت بالاحتضار. كما أن التدريب قبل ذلك الوقت لن يكون مفيدا؛ لأن الخلايا الوليدة، والتي تبدأ حياتها على شكل خلايا غير متخصصة، لم تكن قد وصلت بعد إلى مرحلة التمايز لتتحول لاحقا إلى خلايا نورونية ذات تغصنات تستكشف الإشارات العصبية الواردة من مناطق أخرى من الدماغ وتستقبل دفعات منها، وذات محاوير تبعث رسائل إلى قطاع محاذٍ للحصين يُدعى (CA3). وفي هذه المرحلة بالذات تبدأ النورونات الوليدة بالاستجابة بطريقة ملائمة لبعض «النواقل العصبية» وهي مواد كيميائية تؤدي وظيفة التواصل بين النورونات.

ومما سبق يتضح أن النورونات الوليدة لا يمكنها أن تستجيب لعملية التعلم إن لم تكن قد بلغت حدا أدنى من النضج وكوّنت ارتباطات بالنورونات الأخرى داخل الشبكات العصبية في الدماغ. وعندما تكون عملية التعلم معقدة، فإن جميع النورونات في منطقة الحصين تكون منشغلة كليّا بما فيها النورونات الوليدة، والتي يقيها نشاطها من الموت. أما إذا لم يتعرض الحيوان لتحدٍ كافٍ أثناء عملية التعلم، فإن النورونات الوليدة لا تحصل على التحريض الذي تحتاج إليه من أجل بقياها، فتذبل ثم تتلاشى تماما.

ماذا يعملون؟(**)

تظهر آلاف الخلايا النورونية الجديدة في منطقة الحصين كل يوم، ولكنها لا تبقى على قيد الحياة إلاّ إذا تم تحفيز الحيوان لكي يتعلم. فما هي الوظيفة التي تؤديها هذه الخلايا؟ من البديهي أنها لا تستطيع أن تقدم أيّ دعم لعملية التعلم في اللحظة التي ترى فيها النور. فكثير من أشكال التعلم يتم بشكل فوري تقريبا (خلال زمن قصير لا يتجاوز ثواني معدودة، إن لم يكن أقصر من ذلك). وعندما يواجه الدماغ مهمة جديدة، فإنه لا يستطيع الانتظار ما يقارب الأسبوع حتى تتشكل نورونات جديدة ثم تنضج وتندمج في الشبكات العصبية الوظيفية؛ لكي يبدأ الحيوان بعملية التعلم بعد ذلك.

وقد تراءى لي ولزملائي أن المخزون الاحتياطي من الخلايا له تأثير في بعض جوانب عملية التعلم بعد حين. وللتأكد من هذه الفرضية قررنا التخلص من خلايا الدماغ الوليدة وذلك انطلاقا من الفكرة الآتية: إذا صارت هذه الخلايا ضرورية

(*) WHAT HELPS, WHAT HURTS
(**) What Do They Do?
(1) Critical Window of Time

لعمليــة التعلم، فإن الحيوانــات التي تفتقر إليها قــد تكون تلاميذ أقــل نجاحا. ونظرا لوجود صعوبات تقنية تحول دون استئصال جميع تلــك الخلايا من دماغ الحيوان قمنا، بــدلا من ذلك، بمنعها من الــولادة وذلك من خلال إعطاء الحيوانات عقارا يُدعى «MAM» لأسابيع عدة، وهو عقار مكوّن من مادة توقف انقســام الخلايا. وبعد انقضاء مدة العلاج، قمنا بإدخال الحيوانات إلى حجر الدراسة.

لقــد أظهرت تجربتنــا أن الجرذان التي أُعطيت العقار MAM كانت تلاميذ كســالى في التجربــة النموذجية (مهمــة تتبع طرف العين الشــرطي بزمن 500 ميلي ثانية). لقد وجدوا مشــقة كبيرة في تعلم التنبؤ بالمنبه. ومــع ذلك، فإن هذه الحيوانــات قدمت أداء جيدا في العديد من المهام التعليمية الأخرى التي تعتمد على الحصين مثل **متاهة موريس المائية**[1]. في هذا الاختبار تم إلقاء الجرذان في حــوض فيه ســائل داكن اللــون وغير شــفاف وجدرانه معلّمة بإشــارات **فراغية** spatial تســاعد الحيوانات علــى الاهتداء، حيث عليها الســباحة ضمنــه إلى أن تجد منصة مغمورة بالســائل. وما لفت انتباهنا في هذا الاختبــار هو أن الجرذان المحرومة من الخلايا العصبية الوليدة تعلّقت بالمنصة بالسرعة نفســها التي تعلق بها رفاقها غير المعالجين بالعقار.

وقــد تبين لنا أيضــا أن الحيوانات التي أعطيــت العقــار MAM لم تتأثــر ذاكرتها المكانية المرتبطة بالخبرات العاطفية. وكمثال علــى ذلك، هــو أن الجرذان التــي نقلناها مؤقتا إلــى قفص آخر ثم عرّضناها لصدمة كهربائية خفيفة في منطقة القدم تجمدت من الخوف عندمــا وضعناها مجــددا في هذا القفص. ويُدعى هذا النمط من التعلم **الخوف الشــرطي المرتبط بالظرف**[2]، وهو نمط تعلم يعتمد على منطقة الحصين. وكما رأينا، فإن الحيوانات المعالجة بالعقار المذكور لم تواجه أية صعوبات في هذا النمط من التعلم.

ماذا بعد؟(*)

ما زال هنالك الكثير مما نود أن يتم اكتشافه لمعرفة كيف يسهم التعلم في الحفاظ على النورونات الوليدة بمنطقة الحصين، الأمر الذي يتطلب إعطاء الأولوية للكشف عن الآليات الجزيئية المسؤولة عن التعلم المترافق بتحدٍّ استعرافي كبير، والقادر على إنقاذ حياة الخلايا النورونية الوليدة. ومما نود أن نعرفه أيضا، هو التالي: ماهي النواقل العصبية المنخرطة في ذلك؟ وما هي بروتينات المستقبلات المشاركة؟ ومتى تقوم هذه الآليات بالعمل على وجه التحديد؟ وهل يساعد التعلم النورونات الوليدة على الاندماج في الشبكات العصبية، أم إنه يعزز بقاء النورونات المندمجة مسبقا؟ وكيف تسهم النورونات الوليدة في دماغ البالغ في تعزيز القدرة على تحصيل المعرفة؟

ما زالت تلك النماذج من الدراسات تُجرى على الحيوانات. إلا أننا نود أيضا معرفة المزيد عن التشكل النوروني (تشكل نورونات جديدة) عند الإنسان، سواء أكان الأمر يتعلق بالأشخاص الأصحاء أم بأولئك الذين يعانون أمراضا، كمرض ألزهايمر على سبيل المثال.

ولتحقيق هذه الغاية، سوف يكون علينا تطوير طرائق بحثية سليمة لمراقبة تولّد وموت الخلايا النورونية الجديدة في دماغ الإنسان. وبتوفر هذه الإمكانات البحثية، نصبح قادرين على تسخير جهودنا للبدء بمعالجة بعض النقاط الخلافية المثيرة للاهتمام: بأي قدر يستمر تشكل نورونات جديدة في دماغ إنسان سليم، مقارنة بدماغ مصاب بمرض ألزهايمر؟ هل يُمكن لمداخلات، كالمعالجة الجينية مثلاً، أن ترفع عدد النورونات الوليدة في منطقة الحصين عند الإنسان؟ وهل هناك تدريبات معينة للدماغ من شأنها أن تساعد على الحفاظ على بقاء النورونات الوليدة؟

يُشــير ما ذكرناه حتــى الآن إلى أن الجــرذان التــي ليس لديها ســوى عدد ضئيل مــن النورونات الوليــدة لا تعاني صعوبــات تُذكــر فــي عمليــات التعلم العاديــة، ولكنها تجد صعوبــة في تعلم أداء مهــام ترابطيــة أكثر تعقيــدا، مثل تعرف أن ســماع النغمة الصوتية يسبق تنبيه جفن العين دائما بنصف ثانية. ومما سبق نخلص إلى أنه إذا كانت النورونات الوليــدة ضرورية فعلا للتعلــم، فإنها لا تــؤدي دورها في عمليــة التعلم إلاّ تحت مجموعة خاصة من الظروف التي تتطلّب بذل جهد استعرافي.

وبلغــة البيولوجيا، يمكننــا القول إن لذلك التخصص دلالة واضحة: فالحيوان لا يريد أن ينتظر حتى تنشــأ مجموعة من الخلايا الجديدة ليبدأ بعد ذلك بالتكيّف مع ظروف محيطية لها أثر مباشــر في بقائه حيا. ويمكن أن تُستخدم النورونات الوليدة بعد نضجهــا لدوْزَنَة أو تعزيــز المهارات الموجــودة المتخصصة بتذليــل مصاعب الحياة. وتُسمى عملية تعزيز هذه المهارات، بلغة علم النفس، **التعلم للتعلم**[3].

ماذا عن دماغي؟(**)

إن جميع الدراســات التي ناقشــناها حتى الآن كانت قد أُجريــت على حيوانات المختبــرات؛ فئران أو جــرذان. ولكن، ماذا يحــدث لدى الأشــخاص الذيــن ليس في اســتطاعتهم إنتــاج نورونــات جديدة في منطقــة الحصين؟ يمدّنا الطــب الحديث - وهذا أمــر محزن - بمجموعــة تتكون من أشخاص تم تحضيرهم بعلاج دوائي شامل التأثير بسبب إصابتهم بالسرطان. ويُدعى هذا الشكل من العلاج «المعالجة الكيميائية» وهــي تؤثر في الخلايا بطريقة مشــابهة لما

(*) WHAT'S NEXT?
(**) What about My Brain?
(1) Morris water maze
(2) contextual fear conditioning
(3) Learning to learn



كلما كانت المهمة الاستعرافية أكثر تحديا، زاد احتمال إنقاذ عدد أكبر من النورونات الوليدة شريطة أن تكون نتائج تجارب الحيوان قابلة للتطبيق على الإنسان.

يفعلـه العقـار MAM، أي إنها تقـوم بتثبيط انقسـامها. وكما هو معروف، فإن الانقسام يشكل شرطا لتشكّل الخلايا الجديدة. ورُبَّما لا يكـون الأمر صدفة، حيث إن الأشـخاص الذين يتلقون معالجة كيميائية غالبا ما يشتكون من صعوبات في التعلم وتذكر الأشياء، وهي مجموعة من الأعـراض - أي «متلازمة» بلغة الطب - يُطلق عليها في اللغة الدارجة أحيانا اسم **الدماغ الكيميائي** chemobrain.

وتتوافق هذه المتلازمة، في بعض جوانبها، مـع نتائج تجاربنا علـى الحيوانات. فكما أن القـوارض التي تلقت علاجـا بالعقار MAM لا تعانـي اضطرابـات عميقة أو واسـعة في الوظائف الاسـتعرافية بل تعانـي صعوبات طفيفة أو متوسطة الشدة فقط، فإن الأشخاص الذيـن يخضعون للمعالجـة الكيميائية أيضا يؤدون وظائفهم كما ينبغي في معظم الأحوال. فيرتدون الثياب ويذهبون إلى العمل ويُحضرون الطعام ويختلطون بأفراد الأسـرة والأصدقاء ويواصلون عيش حياتهم اليومية كما سـبق. وهذا أمر منطقي بالطبع. فإذا عُدنا مرة أخرى إلى نتائــج تجاربنا المختبرية على الحيوانات، لوجدنا، كما نوّهنا سـابقا، أن جرذاننا كانت قد أعطيـت المـادة MAM ولكنها لـم تُصَب باضطرابات تنبث في الوظائف الاسـتعرافية، بـل إنها عانت فقـط خللا جزئيـا في بعض عمليات التعلم المعقدة، عمليات تمثل لكلّ واحد منّا ضربا من التحدي. كالقيام بمهام متعددة تقتضي الانخراط في مشاريع عدة وفي الوقت نفسه معالجة معلومات جديدة.

لكي نتمكن من إثبات أن تشكل نورونات جديـدة له تأثيـر في التعلم عند الإنسـان، ينبغـي علـى الباحثين تطوير وسـائل **غير ضارة**[1] قـادرة على استكشـاف نورونات جديدة في دماغ إنسـان حي، وعليهم أيضا

(1) noninvasive

اكتشاف طرائق استقصائية قابلة للعكس، وذلك لإيقاف نضج النورونات الجديدة خلال عملية التعلم.

لقد جرى تطوير الطرائق السابقة، أما الطرائق الأخيرة فمن المرجح أنها تحتاج إلى بعض الوقت لتطويرها. لنفترض الآن، أن لدينا احتياطيا من النورونات الجديدة الجاهزة للحفاظ على دماغ الإنسان رشيقا من الناحية الفكرية. فهل يمكن عندئذ أن نستغل بشكل ما التشكل النوروني من أجل منع أو معالجة الاضطرابات التي تؤدي إلى تراجع استعرافي؟

لندخل في اعتبارنا مرض ألزهايمر، وهو مرض يترافق بتخرب عدد كبير من نورونات الحصين يؤدي إلى فقدان متدرج للذاكرة وتراجع في القدرة على التعلم. ولكن أدمغة مرضى ألزهايمر لا تتوقف عن إنتاج نورونات جديدة، إلا أن هذه النورونات تموت – على ما يبدو – قبل أن تنضج. وقد يكون السبب في ذلك، هو أن المرض بحد ذاته يَحول دون نضج تلك الخلايا من خلال عرقلته مهارة التعلم.

وعلى الرغم من الصورة القاتمة التي تحيط حاليا بأمراض التعلم والذاكرة، فإن هناك بعض الاكتشافات الواعدة على الأقل بالنسبة إلى مرضى الخرف في مراحله الأولى. إلى جانب ذلك، فإن الدراسات التي أُجريت على الحيوانات والبشر أكّدت، كما أشرنا سابقا، أن **الرياضة الهوائية** aerobic ومجموعة من مضادات الاكتئاب تُعززان عملية تشكل نورونات جديدة. ففي دراسة نُشرت عام 2007 تم إثبات أن المعالجة الطويلة الأمد بمضادات الاكتئاب الحديثة قادرة على تحسين الأداء العام وجودة الحياة عند مرضى ألزهايمر، وذلك من خلال تعزيزها تشكل نورونات جديدة وإسهامها في المحافظة عليها.

وهناك أيضا حكايات عن حالات فردية تفيد بأن التعلم الذي يتطلب بذل جهد فكري كبير قد يساعد بعض مرضى ألزهايمر. وفي مؤتمر حول مرض ألزهايمر، قُمت شخصيا بعرض بعض نتائج أبحاثنا على الأطباء السريريين والتي تفيد بأن تعلم الأشياء الصعبة يسهم في المحافظة على النورونات الوليدة. وقد أبدى هؤلاء اهتماما كبيرا بهذه النتائج لأنها تتوافق مع نتائج استقصاءاتهم السريرية، والتي تشير إلى تحسن أعراض هذا المرض بفعل التعلم المجهد فكريا وخاصة عند المرضى الذين سخّروا أنفسهم لفعاليّات تتطلب بذل مجهود استعرافي كبير. ويعتقد بعض الأطباء السريريين أن تلك الفعاليات من شأنها إبطاء سير هذا المرض الذي «يسلب العقل.»

إلاّ أنه من السذاجة بمكان أن نعتقد أن مجرد القيام بمجموعة من الإجراءات كتناول مضادات الاكتئاب وممارسة رياضة ذهنية والانخراط في فعاليات تتضمن بذل جهد معرفي كبير، كفيل بإعادة حالة الدماغ إلى ما كانت عليه قبل الإصابة بمرض كمرض ألزهايمر الذي يقتل كمية من النورونات يتجاوز عددها عدد النورونات الوليدة. أما إذا أردنا أن نكون واقعيين، فيمكننا أن نتصور – بالطبع – أن مثل تلك الإجراءات من شأنها أن تسهم في إبطاء سير المرض، وما يعنيه ذلك من تخفيف لسرعة تراجع القدرات الاستعرافية لدى المرضى الذين يكافحون ضد الأمراض التنكسية، وربما لدينا جميعا عندما تأخذ أدمغتنا بالهرم مع تقدمنا في العُمر.

وبحسب القول المأثور «لا يمكنك أن تُعلّم كلبا كبير السن حيلا جديدة»، فإن أكثرنا يجد صعوبة كبيرة في تعلم أشياء جديدة كليّا. ولكن مع ذلك، إذا أردنا أن نحافظ على مرونة أدمغتنا، ففي أغلب الظن لن يضيرنا تعلم لغة جديدة أو ممارسة رقص إيقاعي أو ممارسة ألعاب حاسوبية سريعة بعد انتهاء برنامج تمارينا الرياضية - حتى إن ذلك قد يكون مفيدا لنا. ■

مراجع للاستزادة

Learning Enhances Adult Neurogenesis in the Hippocampal Formation. Elizabeth Gould, Anna Beylin, Patima Tanapat, Alison Reeves and Tracey J. Shors in *Nature Neuroscience,* Vol. 2, No. 3, pages 260–265; March 1999.

Neurogenesis in the Adult Is Involved in the Formation of Trace Memories. Tracey J. Shors, George Miesegaes, Anna Beylin, Mingrui Zhao, Tracy Rydel and Elizabeth Gould in *Nature,* Vol. 410, pages 372–376; March 15, 2001.

Neurogenesis, Learning and Associative Strength. Jaylyn Waddell and Tracey J. Shors in *European Journal of Neuroscience,* Vol. 27, No. 11, pages 3020–3028; June 2008.

Scientific American, March 2009

شركات التقانة الحيوية تخطط لتحقيق زراعة مستدامة(*)

قد تدعو الحركات الشعبية إلى مزيد من استخدام الطرائق العضوية في الإنتاج، ولكن الصناعة الزراعية ترى أن التقانة الحيوية جزء حاسم من الزراعة المستقبلية.

المشاركون



<J. C. بوريل>
نائب رئيس مجموعة DuPont



<V. فيشر>
رئيس شركة Syngenta لوقاية المحاصيل في أمريكا الشمالية



<D. A. فيشوف>
نائب الرئيس للشؤون التقانية والاستراتيجية والتطوير في شركة Monsanto



<A. گاليندس>
نائب رئيس وحدة إنتاج المحاصيل العالمية في شركة Dow AgroSciences

إذا كانت التنمية البيئية والاقتصادية المستدامة في نهاية المطاف هي مسألة توازن بين استهلاك الجنس البشري وإنتاجه، فعندئذ لا بد أن تعتمد الصناعة الزراعية بشدة على كلا طرفي ذلك التوازن. إن استنزافها لموارد الكرة الأرضية هائل، فهي تستهلك 70% من المياه العذبة التي يستحوذ عليها جنسنا البشري، وما يزيد على 40% من سطح اليابسة (تقريبا، جميع الأراضي الصالحة للزراعة)، مع ما يرافق ذلك من خسارة في التنوع الحيوي. تعد الزراعة الحديثة (التي تعتمد على الوسائل الحديثة في الإنتاج) السبيل الوحيد لإنتاج الغذاء الكافي لسكان الأرض الذين يتوقع زيادة عددهم من 6.8 بليون إلى 9 بلايين نسمة في منتصف هذا القرن. والطلب المتزايد والمتواصل على الغذاء يشكل تحديا كبيرا ليس للزراعة المستدامة فحسب وإنما أيضا للوجود البشري كله.

والزراعة تعتمد على كثير من التقانات الحديثة، ولكن قد تكون التقانات الحيوية الزراعية من أكثرها تأثيرا في الإنتاج الزراعي. وهذه التقانات تسمح بزيادة معدل إنتاج المحاصيل الحقلية واستدامته على الصعيد العالمي. لقد قام رئيس التحرير السابق *لساينتفيك أمريكان* <J. رينيه> بإجراء مقابلة حول هذا الموضوع مع ممثلين لأربع شركات عالمية رئيسة في مجال التقانة الحيوية الزراعية. وفيما يلي نورد نبذة مختصرة عن هذه المقابلة:

ساينتفيك أمريكان (SA): كم من الجهود المبذولة من قبل الشركات لجعل الزراعة والتقانة الحيوية الزراعية قابلة للاستدامة تُمثل استجابة لطلب في الأسواق من أجل الاستدامة اليوم، مقابل إحساس بأنه ستكون هناك فرصة سوقية مستقبلية أو إلحاح من أجلها؟

<بوريل>: يعد مبدأ الاستدامة أمرا جوهريا لشركة DuPont، وهو مبدأ معتمد لمئتي سنة. وتعد التقانة الحيوية إحدى الوسائل الرئيسة التي تساعدنا على التقدم إلى الأمام. وأعتقد أن هذه التقانة ستساعدنا وتساعد المزارعين على إنتاج أكبر على الأرض نفسها أو على جزء منها وبطرق أكثر استدامة. وسوف

مفاهيم مفتاحية

- في عام 2050 ستحتاج الزراعة إلى إنتاج 50% زيادة من الغذاء على ما يتم إنتاجه حاليا بسبب زيادة تعداد سكان العالم. ولا تستطيع الزراعة التقليدية للمحاصيل ووسائل الإنتاج المتاحة تحقيق تلك الزيادة واستدامتها.
- ممثلون عن الشركات الزراعية يدافعون عن المحاصيل المحورة جينيا (التقانات الحيوية الزراعية) كونها واحدة من الوسائل الحديثة التي تساعد مزارعي دول العالم الثالث على زيادة واستدامة الإنتاج الزراعي.

محررو ساينتفيك أمريكان

(*) BIOTECH'S PLANS TO SUSTAIN AGRICULTURE

تساعدنا التقانة الحيوية مع تقانات حديثة أخرى على إنجاز مهام الشركة بنجاح.

<فيشوف>: إن أحد أهداف التقانة الحيوية بشكل عام هو إنتاج أكبر بمساحة أقل، وتخفيض تكاليف الإنتاج عن طريق تخفيض استعمال المبيدات الحشرية، والتعامل مع القضايا البيئية مثل عدم كفاية المياه للري أو السعي إلى زيادة تحمل المحاصيل للجفاف. ولابد من ذكر أن زيادة تعداد السكان والطلب المتزايد على الغذاء مع التغيرات المناخية أدت إلى مضاعفة الاهتمام بالتقانة الحيوية الزراعية لإيجاد الحلول لهذه المشكلات.

<كاليندس>: علينا أيضا أن نأخذ في الحسبان أننا كمنتجين بحاجة إلى التنبؤ بأحوال السوق والقواعد الناظمة له، والمعايير التسويقية في المستقبل بعد 10 أو 15 سنة، لأن كل منتج نكتشفه اليوم يحتاج إلى فترات بهذا الطول حتى يتم تسويقه. ونعرف دائما أن تلك المعايير الخاصة بالمنتجات معروفة منذ خمسين سنة.

<فيشر>: مع التحديات التي نواجهها، خاصة مع نمو وزيادة عدد سكان العالم وتغيرات النظام الغذائي المعروفة منذ 25 أو 30 سنة، يتعين علينا أن ننتج 50% زيادة في الغذاء على ما ننتجه اليوم. لذا يجب زيادة الإنتاج في وحدة المساحة. وتعد التقانة الحيوية الزراعية من وجهة نظرنا في شركة Syngenta إحدى الوسائل لتحقيق ذلك الهدف. ولإدارة هذا التحدي، سيحتاج المزارعون إلى الوصول لأفضل تقانة متاحة.

SA: إن أهم ما يقلق في مجال المحافظة والاستدامة هو ما يتعلق بالمياه العذبة والتربة الزراعية. فما هي أفضل الخيارات التقانية لمعالجة هذه المشكلات؟ وربما أيضا نستطيع التحدث عن خيارات غير تقانية؟

<فيشوف>: تنقسم المحاصيل الزراعية في العالم إلى قسمين: قسم منها يأخذ ما يحتاجه من المياه من مصادر كالمطر (الزراعة البعلية)، وقسم من المحاصيل مروي (الزراعة المروية) يحتاج المزارعون فيه إلى البحث عن مصادر مختلفة لتأمين المياه له. ولكن أعتقد أنه حتى في الحالات التي تعتمد فيها المحاصيل على مياه الأمطار، فهي في وقت ما لا تحصل على حاجاتها المثالية من المياه في فترة نموها. وطرق التصدي لتلك المشكلة من قبل شركتي Monsanto و industrywide، هي في واقع الأمر قوام ما نجريه حاليا في الزراعة.

وأحد الحلول المطروحة من خلال تربية النبات، حيث تُنْتَخَب (تُنتقى) نباتات أو محاصيل تتحمل الجفاف وذلك بالاعتماد على التنوع الحيوي الطبيعي للمحاصيل بانتخاب سلالات ترفع مستويات تحملها للجفاف، أي قدراتها على الاستخدام الأفضل للماء المتاح للري. إضافة إلى ذلك، هناك تحفيز تلك القدرات على تحمل المحاصيل للجفاف وذلك بتطبيق الهندسة الوراثية، حيث يجري عزل جينات (مورثات) تحمّل الجفاف من مصادر مختلفة وإدخالها في المحاصيل الرئيسة مما يعطي هذه المحاصيل قدرة أكبر على تحمل ظروف الجفاف. وأعتقد أن كلتا التقانتين السابقتين تظهران نتائج واعدة. ومشكلة الجفاف قديمة العهد بالنسبة إلى الزراعة، وفي نهاية المطاف أعتقد أننا نشهد اليوم الذي يمكننا فيه بالاعتماد على التقانة الحيوية النباتية، أن نتطلع إلى إنتاج محاصيل تتمتع بكفاءة عالية في استعمال المياه.

<بوريل>: إن تطوير محاصيل تتحمل الجفاف وكذلك تطوير محاصيل ذات كفاءة عالية في استعمال النتروجين أمران بالغا الأهمية. ولا نتوقع تحققهما في السنة القادمة، لكن ذلك ليس بعيدا جدا. وإذا





سلالات جديدة من المحاصيل لها سمات مرغوب فيها قيد التطوير باستخدام تقانتي التحوير الجيني (التعديل الوراثي) وتربية النبات؛ ولكن ثمة اختلافا في الرأي بين مؤيد ومعارض حول التأثيرات البيئية والاقتصادية لهذه المحاصيل مازال محتدا.

كنت تفكر في القضايا الأخرى التي جئت على ذكرها، فإن الحل في أغلب الأحيان سيكون باستخدام مجموعة تقانات، أو يمكن أن يكون الحل أحيانا لا بالتقانات وإنما بإدارة الخدمات الزراعية. وعلى سبيل المثال، قام بعض المزارعين بتخفيض عمليات حراثة الأرض الزراعية، مما ساعد على الحد من تعرية التربة وتخفيض التأثيرات البيئية للزراعة – وقد أمكن ذلك جزئيا بفضل التقدم الذي تحقق في **علم الوراثة النباتية** crop genetics، وباستخدام محسّن للمواد الكيميائية في المحاصيل باستخدام تجهيزات أفضل وهلمّ جرا. وهكذا، فإن المنظومة كلها تسير قُدُما إلى الأمام، وفي أغلب الأحيان نجد المزارعين أكثر اهتماما باستدامة البيئة من أولئك الذين لا يعيشون في المزارع.

«فيشر»: بالنسبة إلى شركة Syngenta، لدينا برامج لتحديد الاختلافات الجينية (الوراثية) والتغيرات الفيزيولوجية في النباتات التي تساعدها على التغلب على الجفاف والإجهادات البيئية الأخرى، ونحاول إدخال جينات (مورثات) الجفاف المعزولة من خلال تقانة تربية النبات في بعض المحاصيل للحصول على محاصيل تتحمل الجفاف. ونتوقع أن يتم تسويق أول منتجاتنا المتحملة للجفاف بعد عام 2011. كما نعمل على تطوير بدائل أخرى. خذ على سبيل المثال المنتج Invinsa المزمع عرضه هنا في الولايات المتحدة. إنه يحمي المحاصيل في فترة النضج من درجات الحرارة العالية، كما يحمي المحاصيل من الجفاف الخفيف إلى المتوسط ومن الإجهادات النباتية الأخرى.

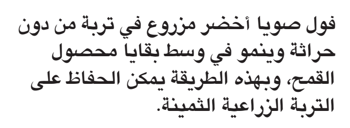
«فيشوف»: إن عامة الناس قد لا تدرك أنه في بعض الحالات ثمة منافع من نشر استخدام التقانة الزراعية الحديثة وتبني مبدأ المحافظة على التربة الزراعية وتخفيض عمليات الحراثة. وقد ساعد على حماية التربة تطوير محاصيل تتحمل مبيدات الأعشاب، مثل منتجنا Roundup Ready (محاصيل محورة جينيا (وراثيا) تتحمل مبيدات الأعشاب) ومنتجات أخرى تساعد المزارعين على اتباع طرائق الحراثة المخففة بكفاءة عالية. وهذا ليس السبب الوحيد الذي يجعل تقانة تحمل مبيدات الأعشاب جيدة وتساعد المزارعين على تحقيق الزراعة المستدامة، ولكنه أحد العوائد الجانبية التي كثيرا ما يغفل ذكرها.

«گاليندس»: أعتقد أن جميع الشركات الممثلة هنا اليوم سيكون لها استثمارات كبيرة في مجال التقانة الحيوية الزراعية، وخاصة في مجال إنتاج المحاصيل المتحملة للجفاف وللفيضان أو للزيادة المفرطة في المياه أو للانخفاضات في استخدام النتروجين بالتسميد. ولكن ثمة فوائد أخرى للتقانة الحيوية. فمثلا، نستفيد منها اليوم بالحصول على الزيوت الصحية. إذا نظرت في برنامج شركة Dow AgroSciences للحصول على زيوت أوميگا 9، فسيتبين لك أننا في السنوات الثلاث الماضية استطعنا إزالة نصف مليون پاوند من الدهون المتحولة والدهون المشبعة من النظام الغذائي الأمريكي. وإذا نظرت

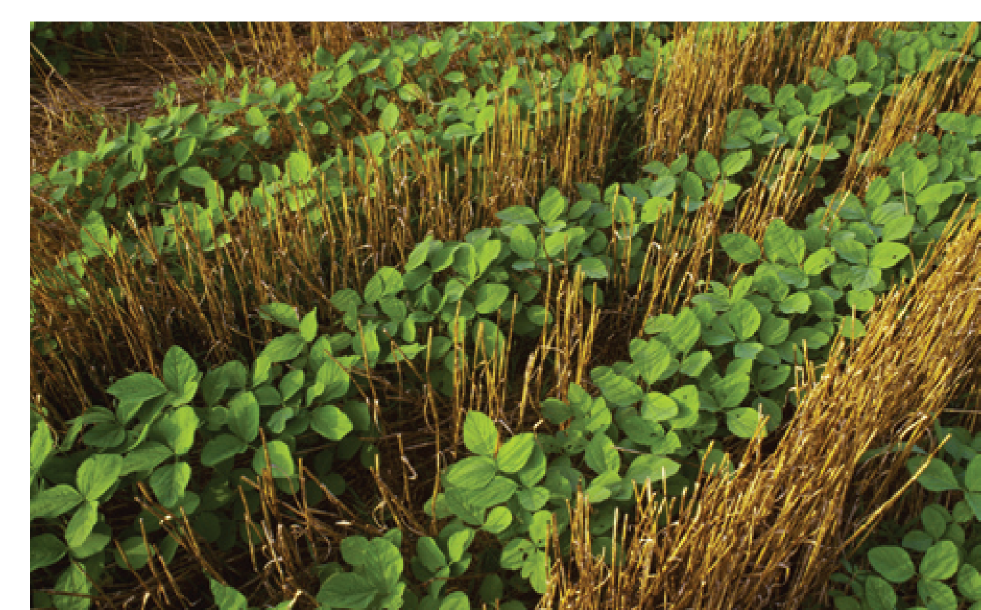
فـــي التأثيرات الثانوية لتلك الدلائل الصحية في البيئة كلها، فســـتعرض لك ناحية يجهل الناس عادة أهميتها، ألا وهي ماذا تستطيع الزراعة الحديثة أن توفر لهم.

SA: هل ثمة معاونـــات تقانة **لابيولوجية**[١] تعتمد صناعـــة التقانة الحيوية على ظهورها لتحقيق الزراعة المستدامة؟ فمثلا، لقد سمعت نقاشـــا متفائلا حول تحســـين تقانات الري وطرق اســـتخدام تقانـــة المعلومات لإيصال الماء إلى المحاصيل بصورة أكثر حذرا، فإلى أي مدى تعتمـــد التقانة الحيوية على تقانات مكملة في صناعات أخرى؟

<فيشوف>: في واقع الأمر، إن كافة التقانات المذكورة تعمل معا يدا بيد. فنحن في شـــركة Monsanto التزمنا بالعمل لمضاعفة الإنتاج في المحاصيل الزراعية الرئيسية التي نعمل عليها – الذرة وفول الصويا والقطن، بشـــكل خاص – وذلك بحلول عام 2030. ونحن نرى أن تلك النتيجة ســـتتحقق من خلال امتلاكنا لثلاثة أنماط مـــن الجهود. أولها هو بوضوح التقانة الحيوية بمعنى إدخال جينات جديدة وصفات مميـــزة. والثاني هو التقانة الحيوية أيضا في دعمها تربية المحاصيل وتحسينها وراثيا وذلـــك بتطبيق تقانـــة مرتبطة **بالدنا** DNA ومتوفرة لمربي النبات لزيادة وتحسين إنتاجهم. والثالث يتعلق بتحسين الممارسات الزراعية جميعها، وهذه تتضمن زراعة دقيقة بالاعتمـــاد على الاستشـــعار من بعد و**نظام تحديد المواقع العالمي**[٢]. وهذا يعني أن يزرع البذار الصحيح في المكان الصحيح بالاعتماد على توفر الشـــروط الحقلية والتطبيق الدقيق لاستخدام المبيدات والتسميد النتروجيني أو مدخلات أخرى. إنه يســـتفيد من التجهيزات الجديدة في الري وتقانـــات جديدة للزراعة، مثل الزراعـــة التكثيفية التي تســـمح بزيادة عدد النباتات في وحدة المساحة لزيادة إنتاج المحاصيـــل المزروعة. ولا أعتقـــد أن واحدا من تلـــك الجهود بمفرده سيســـمح بتحقيق الأهداف المرجوة، وسنحتاج إلى تضافر هذه الجهود الثلاثة معا.



فول صويا أخضر مزروع في تربة من دون حراثة وينمو في وسط بقايا محصول القمح، وبهذه الطريقة يمكن الحفاظ على التربة الزراعية الثمينة.



SA: تعـــد **تقانـــات التحويـــر الجينـــي**[٣] للمحاصيـــل واحـــدة من أفضـــل التقانات المتاحـــة والمقنعة للـــرأي العام فـــي تطوير الكثير من المزايا التي ذكرتموها.

<فيشـــر>: نحن في شركة Syngenta نعتقد أن تطبيـــق مجموعة مؤتلفة مـــن التقانات الحديثة المختلفة سيســـمح لنا بزيادة إنتاج الغذاء بنســـبة 50% في الخمس والعشرين ســـنة القادمة، وهذا مانحتـــاج إليه لتأمين الغذاء في مواجهة النمو السكاني العالمي. لذلـــك، لايمكن القـــول إن التقانـــة الحيوية لوحدها، أو البذار المحســـن وراثيا لوحده يفي بالغرض، فلابد من استخدام التقانات الأخرى، مثل اســـتخدام المـــواد الكيميائية في وقايـــة النبات وتقانات الزراعة المتطورة جميعها لتحقيـــق الزراعة الحديثة. ونحن، بلا شـــك، نعرف أن الأغذية المحورة جينيا والمبيـــدات هي مـــن أكثر الأمـــور المجربة والمدروســـة علـــى نطاق واســـع في قطاع إنتاج الغـــذاء. ويتعين الوثوق بالشـــركات المنتجة وخاصة عندما تصل منتجاتها إلى الأسواق على أساس أنها آمنة وغير ضارة من الناحية الصحية إذا استخدمت بالشكل الصحيح حسب التعليمات.

(١) nonbiological
(٢) global positioning system
(٣) transgenic technologies

<فيشوف>: لايزال هناك كثير من المناقشات، وخاصة في بعض القطاعات حول الغذاء والمحاصيل المحورة جينيا. وأعتقد أن كافة زملائي يوافقونني الرأي بأن البيانات المتوفرة توضح أهمية المحاصيل المحورة جينيا ومزاياها، من حيث تخفيض تكاليف استعمال مبيدات الحشرات، إلى زيادة الإنتاج في وحدة المساحة وزيادة القيمة المضافة إلى المزارعين. وقد لاحظنا اعتمادا سريعا لهذه التقانات من قبل المزارعين في بعض البلدان، عندما أتيحت الفرصة لهم. وقد رأينا ذلك جليا في الولايات المتحدة الأمريكية حيث تزرع عدة محاصيل محورة جينيا مثل الذرة وفول الصويا والقطن، وفي كندا يزرع نبات الكانيولا.

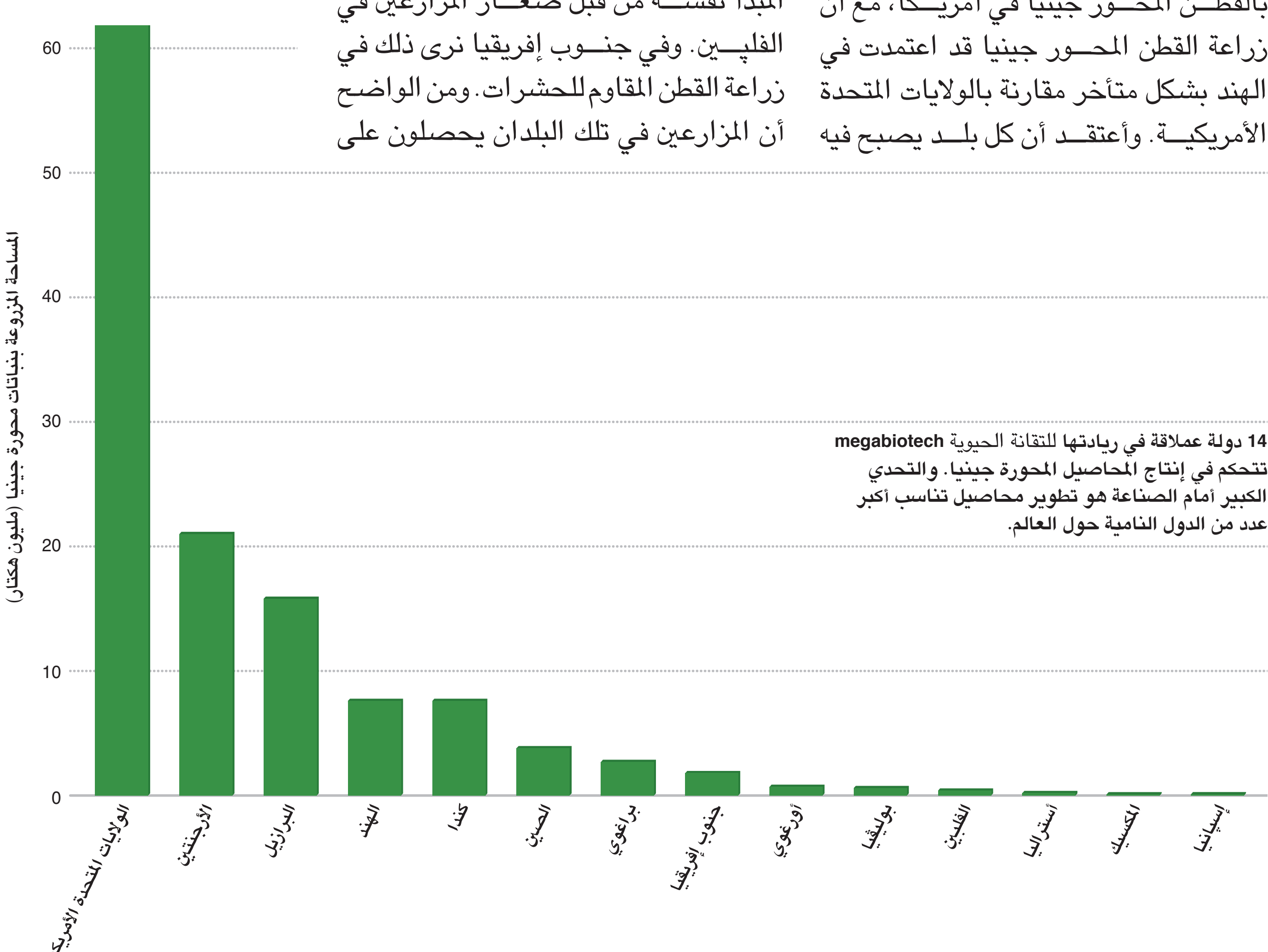
وفي الهند، تبلغ المساحة المزروعة بالقطن المقاوم للحشرات، ضعف المساحة المزروعة بالقطن المحور جينيا في أمريكا، مع أن زراعة القطن المحور جينيا قد اعتمدت في الهند بشكل متأخر مقارنة بالولايات المتحدة الأمريكية. وأعتقد أن كل بلد يصبح فيه المزارعون قادرين على التصويت بحرية حول ماذا يفضلون، وخاصة بعد أن شهدوا فوائد زراعة القطن المحور جينيا، فإنهم سيتبنون ما تعرضه التقانة الحيوية.

SA: إن الردّ المعهود، كما تعلمون، هو أن فوائد المحاصيل المحورة جينيا تزداد بشكل لا متوازن لدى منتجي البذار والمزارع الكبيرة وليس بالضرورة لدى المزارع الصغيرة الشائعة أكثر في المناطق الفقيرة. فما يزعج كثيرا من الناس هو الجانب الاقتصادي لقضية الاستدامة لهذه المحاصيل.

<فيشوف>: يوجد في الهند حاليا، حسب علمنا، نحو أربعة ملايين مزارع يزرعون القطن المقاوم للحشرات، وذلك على مساحات صغيرة جدا. وقد لاحظنا تبني المبدأ نفسه من قبل صغار المزارعين في الفلبين. وفي جنوب إفريقيا نرى ذلك في زراعة القطن المقاوم للحشرات. ومن الواضح أن المزارعين في تلك البلدان يحصلون على

«من أكبر التحديات خلال الأربعين سنة القادمة مواجهة احتياجات الأعداد البشرية المتزايدة. إنك لن تستطيع ذلك من دون استدامة الإنتاج الزراعي».

<A. گاليندس> من شركة
Dow AgroSciences



14 دولة عملاقة في ريادتها للتقانة الحيوية megabiotech تتحكم في إنتاج المحاصيل المحورة جينيا. والتحدي الكبير أمام الصناعة هو تطوير محاصيل تناسب أكبر عدد من الدول النامية حول العالم.



محاصيل محورة جينيا (معدلة وراثيا) تُستخدم في إنتاج الزيوت، وهي (*من اليسار إلى اليمين*) قطن، فول الصويا، ذرة، وكانيولا. ومن مزايا التحوير الجيني لهذه المحاصيل أنها تتضمن صفة مقاومة لمبيدات الحشرات.

أسعار جيدة لمنتجاتهم، سواء كان المنتج الذي يحوي بذرة أو **خلّة**[1] محورة جينيا أو مادة كيميائية. ويحصل المزارعون على حصة كبيرة من تلك القيمة الكلية. وبالتأكيد نحن جميعا نحصل على الربح، فالشركات تحتاج إلى المال من أجل تغطية نفقات منتجاتها، ولكني لا أعتقد البتة أن الشراكة بين المنتج والمزارع غير متكافئة.

<كاليندس>: إن التحدي الكبير أمامنا في الأربعين سنة القادمة هو كيف يمكن أن نؤمن احتياجات الأعداد الكبيرة من السكان المتزايدة باستمرار. ولن نستطيع مواجهة هذا التحدي من دون أن يتم ذلك بشكل مستدام. ولكن في الوقت نفسه، لا يمكن أن نحقق الاستدامة من دون تأمين حاجات سكان العالم على مدى الأربعين سنة القادمة.

وأعتقد أن هذا التحدي يحتاج إلى مناقشة جدية باهتمام كبير. انظر إلى القيمة المضافة في العشر السنوات الماضية التي حققتها التقانة الحيوية في تطوير الزراعة ومجتمع المزارعين. فالتقانة الحيوية ليست هي العنصر الوحيد في الموضوع؛ وإنها ليست الأداة الوحيدة الواعدة في جعبتنا. لكنني أعتقد أن ثمة حقائق تدلنا على أن التقانة الحيوية صارت إحدى أهم الأدوات، إضافة إلى الآلات الزراعية وتقانة الري وتقانة المعلومات، فهي تقدم الحل لتأمين الغذاء ولتحقيق الاستدامة.

<فيشر>: إن أهمية عملنا، لا تكمن فقط في فوائد التقانات التي نطورها، لكن أيضا في إمكانية المبادلة التي علينا اتخاذها. وإذا كنا نحتاج إلى إنتاج كمية غذاء أكبر، فإن ذلك يمكن أن يتحقق إما بزيادة مساحة الأرض المزروعة، وهذا له أثر ضار في البيئة وفي الموارد الطبيعية، أو بزيادة الفعالية والإنتاجية على مساحة الأرض المتوفرة. وأعتقد أن الجواب واضح: يتعين العمل بكدّ حتى نحصل على أعلى معدل إنتاج من المساحة الحالية المستثمرة مستخدمين أفضل التقانات المتاحة.

SA: إنني متأكد من أنكم جميعا كثيرا ما سمعتم التعليق بأن السبب الحقيقي للجوع في العالم ليس نقص الغذاء، وإنما هو مشكلة الفقر. وإذا أردنا تقديم الغذاء لشعوب الأرض كافة، فسنحتاج إلى إصلاح النظام السياسي والاقتصادي والاجتماعي. فهل تخالفونني الرأي؟ هل تشعرون بأن

(١) trait

التقانة الحيوية لهـا دور في إحداث التغيير المنشـود ـ لعله من الأسهل تغيير التقانة من إحداث التغيير الاجتماعي؟

<بوريـل>: يمكـن كمثـال أن نبـدأ بالقـارة الإفريقية، حيث توجد أعداد كبيرة من السكان تعاني الفقر وسـوء التغذيـة، ففي هذه الحالة يمكن أن تساعد التقانات الحديثة. لقد سمعنا ببعض القصص حـول مزارعين اعتمدوا على التهجين في زراعة الذرة، فكانت النتيجة أن نمط حياتهم قد تغير بشـكل كبير ـ لقد استطاعوا تأمـين الغذاء لهم ولعائلاتهـم كما تمكنوا من بيع منتجاتهم وكسب مال كاف لإلحاق أولادهم بالمدارس. وثمة قصص حول التأثيرات المذهلة فـي حياة الناس كما هي – بالنسـبة إلينا في الولايات المتحدة – تقانة أساسية إلى حد ما.

ولكـن هذه التأثيـرات لا تتأتى من مجرد اسـتخدام التقانة الحديثة، وإنما مما يتطلبه هـذا الاسـتخدام: تملـك الأرض والتأمـين والتعامل مع السـوق والاتصالات وغير ذلك. ولا شـك أن في ذلك إدخالا للعلم في التعامل مع الأسواق لتحقيق التغيير المنشود. وأعتقد أننـا – وكذلـك شـركة DuPont – نعمل مع المنظمـات الدولية والمحليـة ومراكز الأبحاث لتطوير البنيـة التحتية والإمكانـات المحلية. وفي حالتنا، نحن نعمل مباشرة مع المزارعين في جميع البلـدان تقريبا. إضافة إلى التقانة التي تعرضها شـركتنا، فإنها تساعدهم على الحصول على المنتج الصحيح في المسـاحة الصحيحة، سـواء أكانت في مركـز الولاية Iowa أو في منطقة محلية بإثيوبيا.

<فيشـوف>: نحـن لا نسـتطيع حل جميع مشـكلات العالـم المتعلقة بالفقـر وتوزيع الغـذاء، لكـن الشـيء الذي يمكننـا فعله هو التأكـد من أن تقاناتنا متوفرة وسـهلة الوصول إلى المزارعين مهما كانت مقاييس مزارعهم أو بلدانهم.

وأحد الأمثلة هـو الطريقة التي يمكن أن نعمل وفقها مع المنظمات المختلفة الأقدر على التصدي لتلك المشكلات. ولشركة Monsanto شـراكة مع بعض المعاهـد الزراعية الدولية ومع مؤسسة گيتس Gates Foundation، حيث نعمـل على توزيع تقانـة تحمّل الجفاف في أصناف وهجن الـذرة المتأقلمة مع الظروف البيئية الإفريقية بأسرع ما يمكن بعد توفرها للمزارعين في أمريكا.

<فيشـر>: إنه النهج نفسـه الذي نتبعه في شـركة Syngenta. فنحـن نطـور تقاناتنـا ونحاول أقلمتهـا بحيث يقوى المزارعون في جميع أنحـاء العالم على احتمـال نفقاتها. كما نطبق سياسـة تزويـد تقاناتنا من دون حقوق ملكية، وذلك من أجل أن يستفيد منها مزارعو دول العالم الثالث.

<فيشـوف>: ونحـن أيضا لا نسـتطيع أن نتجاهـل أننا حققنا الآن إلى حد ما التوازن بين توفير البـذار لهذه المحاصيـل وزيادة الطلب عليها في كل عـام. ولابد من تحقيق التـوازن بين زيادة عدد السـكان والإنتاج. وهذا ما يتطلب تحقيق زيادة في الإنتاج كي لا يحـدث نقص في تغذية بعض السـكان. لذلك، فإننـا نحتاج إلى الحفـاظ على هذا **الزخم**[1] في زيادة المحصول والإنتاجية، وإلا سنكون في وضع حرج أكثر.

<بوريـل>: قد يتفاجأ البعض عندما يدركون أنـه في عـام 2008 قام أكثر مـن 13 مليون مزارع في العالـم بزراعة محاصيل محورة جينيـا والمفاجـأة أكبر عندمـا نعلم أن 12 مليونا منهـم يمتلكون مـزارع صغيرة في بلـدان متعددة مـن العالم. وحتـى الآن لم تدخل التقانات المتقدمة عددا كبيرا من بلدان العالم؛ ولكن هنـاك الكثير من الجهود التي تقوم بها الصناعة، ونحن أيضا كشركة، من أجل توفير تلك التقانات حيث يمكنها إحداث تغيير حقيقي إلى الأفضل، بغض النظر عن حجم العملية الزراعية. ■

(١) momentum

تتمة الصفحة 19 (أفول الإنسان النياندرتالي)

النياندرتاليين من الطاقة أكثر بمقدار يتراوح مــا بين 100 و 350 ســعرا حراريا (كالوري) تقريبا من احتياجات أفراد الإنســان الحديث الذين كانوا يعيشــون في الظــروف المناخية نفســـها، وذلك انســجاما مع نموذج قدّمه كل من ‹W. A.› فروهل› [من جامعة كاليفورنيا، ســان دييگو] و ‹E. S.› تشرشــل› [من جامعة ديوك]. فأفراد الإنسان الحديث، حينئذ، يمكن أن يكونوا قد نافسوا في الواقع النياندرتاليين بمزيــة كونهــم أكثر توفيــرا للطاقــة : إنّهم باســتخدامهم طاقة أقل لنشاطاتهم المعتادة يعني أنّ أفراد الإنســان الحديث استطاعوا أن يكرّســوا طاقة أكثر لتكاثرهم وتأمين بقاء صغارهم على قيد الحياة.

وثمــة اختــلاف آخر بــين النياندرتاليين والحديثين يســتحق الذكر، ألا وهو الاختلاف الــذي مكّن من تحســين بقــاء الحديثين على قيــد الحياة بطرائــق كثيرة. فقــد بيّن بحث أجرته ‹R.› كســپاري› [من جامعة متشــيكان المركزية] أنّه قبل نحو 30 000 ســنة، بدأ عدد أفراد الإنســان الحديث الذين عاشــوا حتى أعمار متقدمة بصــورة كافية ليصبحوا بعمر الأجداد، بالزيادة بســرعة وبصورة مفاجئة. ولــم يعرف تماما ما الذي ســرّع هذه الزيادة فــي طول العمــر، غير أنّه كان لهــذه الزيادة نتيجتــان أساســيتان: الأولى، تَوفّــر للناس سنوات أكثر للتكاثر، ومن ثم زيادة في قدرات خصوبتهــم. والثانية، توفــر لديهم المزيد من الوقت لاكتســاب معارف متخصصــة ونقلها إلى الجيــل التالي ــ على سبيل المثال، معرفة أين توجد مياه الشــرب فــي أوقات الجفاف. ويعلّق ‹ســترنگر› على ذلك بالقول: «إنّ البقاء علــى قيد الحياة لمدة طويلة يعطي فرصا أكبر لتوسيع الشبكات الاجتماعية وتخزين معارف أوســع.» وفي المقابل، فهو يفتــرض أنّ بقاء النياندرتاليين على قيد الحياة لمدة أقصر جعل معارفهم أكثر عرضة للضياع.

ويمكــن أن تتوفر أدلــة إضافية تدل على ســبب أُفــول النياندرتاليين وذلــك من تحليل تسلســل **جينــوم** genome النياندرتاليين. ومن المتوقع نشر التسلســل الكامل لهذا الجينوم خلال عــام 2009. غيــر أنّه مــن المحتمل أن يتأخّر ظهور الأجوبــة؛ لأن العلماء لا يعرفون الشــيء الكثير عن الــدلالات الوظيفية لمعظم مناطق جينوم الإنســان الحديــث، ناهيك عن جينوم الإنسان النياندرتالي. «إنّنا بعيدون كل البعد عن تفســير ما يكشــفه جينوم الإنسان النياندرتالــي.» هــذا ما يذكره ‹ســترنگر›. إضافــة إلى ذلك، لا تــزال هناك التحاليل في المســتقبل التــي ربّما ســتمكّننا من تحديد دقيق للاختلافات الأيضية (الاســتقلابية) أو الاختلافــات في المعارف المكتســبة بين أفراد المجموعتين. وعلى ســبيل المثــال، يمكن لهذه الاختلافــات أن تزودنــا أيضا بجــواب أكثر دقة عن الســؤال فيما إذا كان النياندرتاليون والحديثون **يتهجنون** interbreed فيما بينهم.

إن لغز العصــر الحجري المحيّر حول من المسؤول عن أفول النياندرتاليين، لايزال خفيا تماما. غيــر أنّ الباحثين يلتقــون عند نتيجة واحــدة؛ وهي أنّــه بصرف النظــر عمّا إذا كان عامل المنــاخ أو عامل التنافس مع أفراد الإنســان الحديث، أو كان العاملان معا، هما الســبب الرئيســي في أفــول النياندرتاليين، فــإنّ العوامل المحــدّدة المتحكّمة في انقراض مجموعــات خاصة من هؤلاء البشــر القدماء كانت تختلف بالتأكيد من مجموعة إلى أخرى. فبعض المجموعات يمكــن أن تكون قد هلكت من المرض وبعضها الآخر من التهجين. ويعلّق ‹فينليسون› على ذلك بقوله: «قد تكون لكل وادٍ قصته الخاصة عن تاريخه.»

يؤكّد ‹فينليسون› أنّ آخر النياندرتاليين المعروفــين الذين بقوا علــى قيد الحياة، هم الذين عاشوا في كهوف شواطئ جبل طارق قبل نحو 28 000 سنة، وهؤلاء لم يقضوا أيامهم في منافسة الحديثين؛ نظرا لأنّ الحديثين لم يســتقروا هناك على ما يبــدو إلاّ بعد آلاف السنين من انقراض النياندرتاليين. ومع ذلك، فإنّ البقيــة الباقية من قصتهم تتطلّب المزيد من البحث والتنقيب. ■

مراجع للاستزادة

Older Age Becomes Common Late in Human Evolution. Rachel Caspari and Sang-Hee Lee in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA,* Vol. 101, No. 30, pages 10895–10900; July 27, 2004.

Rapid Ecological Turnover and Its Impact on Neanderthal and Other Human Populations. Clive Finlayson and José S. Carrión in *Trends in Ecology and Evolution,* Vol. 22, No. 4, pages 213–222; 2007.

Heading North: An Africanist Perspective on the Replacement of Neanderthals by Modern Humans. Curtis W. Marean in *Rethinking the Human Revolution.* Edited by Paul Mellars et al. McDonald Institute for Archaeological Research, Cambridge, 2007.

Neanderthal Exploitation of Marine Mammals in Gibraltar. C. B. Stringer et al. in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA,* Vol. 105, No. 38, pages 14319–14324; September 23, 2008.

Scientific American, **August 2009**

متّهمون جُدد في إحداث الآلام المزمنة(*)

إن الخلايا الدبقية(1) هي بمثابة قيِّم(2) على الجهاز العصبي الذي يمكن لرعايته أن تتجاوز ذلك بكثير. وتطويع هذه الخلايا يحمل آمالا واعدة بالقدرة على تسكين الآلام التي تعجز الأدوية الحالية عن تخفيفها.

<D .R. فيلدز>

مفاهيم مفتاحية

- إنّ الألم المزمن الذي يستمر بعد شفاء الأذية، يكون ناجما في معظم الأحيان عن استثارة زائدة للنورونات المسؤولة عن حس الألم والتي ترسل الإشارات من دون وجود منبِّه خارجي.
- إنّ الأدوية المسكِّنة التقليدية التي تستهدف الخلايا العصبية مباشرةً، لا تفيد إلاّ نادرا في تهدئة هذه الرسائل الألمية الشاذّة، وذلك لأنّ الحساسية المرتفعة للنورونات هنا يتحكّم فيها نمط مختلف من الخلايا تُدعى الخلايا الدبقية glia cells.
- تقوم الخلايا الدبقية بمراقبة نشاط النورونات وبضبطه، وتحاول أن تحافظ على هذه النورونات في حالة صحية جيدة تسمح لها بممارسة وظائفها بشكل صحيح وفعّال. ولكنّ ارتكاسات دبقية(3) للألم الشديد، يمكنها في بعض الأحيان أن تطيل أمد هذا الألم.

محررو ساينتفيك أمريكان

انزلقت قدم <هيلين> اليسرى عن دوّاسة القابض (الدوبرياج)، وهي تحاول الضغط عليها، وأدّى هذا إلى التواء كاحلها عند اصطدامه بأرضية السيارة. وحسبما تتذكر، فقد شعرت حينئذ بحدوث **وثي** sprain بسيط، لكنّ الألم ظل متواصلا لا يهمد، بل بالعكس ازدادت شدته. وفي نهاية الأمر، صار اللمس الخفيف - حتى التماس اللطيف مع غطاء السرير القماشي - يطلق بارقة تشبه التيار الكهربائي تنطلق صاعدة إلى ساقها. «لقد كان الألم شديدا جدا بحيث منعني حتى من الكلام، وفي الوقت نفسه كنتُ في قرارة نفسي أصرخ بسببه.» هذا ما كتبته تلك السيدة الإنكليزية الشابة في إحدى الصحف الإلكترونية، تصف الحالة الغامضة التي عذّبتها لمدة ثلاث سنوات تلت الحادثة الأولية.

إنّ الألم المزمن الذي يشكو منه الأشخاص مثل <هيلين>، يختلف عن الصفعة التحذيرية التي يسببها الألم الحادّ، فالألم الحادّ هو أكثر الأحاسيس الشديدة إنذارا للجسم، والهدف منه هو منعنا من إحداث المزيد من الأذى لأنفسنا. وهذا النمط من الألم يُدعى أيضا **الألم الپاثولوجي** pathological pain، لأنّ ما يسبّبه هو عامل خارجي (مثل حدوث تلَف نسيجي) يُطلِق الإشارات التي تسير عبر الجهاز العصبي إلى الدماغ، وهناك يتم إدراكها وتفسيرها على أنها ألم. ولكن تصوَّر أنّ الألم المبرح بسبب اعتصار الأمعاء الناجم عن أذية حقيقية لا يتوقَّف أبدا؛ حتى بعد شفاء الآفة الأساسية، أو تصوّر أنّ الأحاسيس العادية التي نشعر بها يوميا صارت موجعةً بشكل مفرط: تتذكر <هيلين> حالتها فتقول «لم أكُن قادرة على الاستحمام بواسطة الدُّش (المرشّة) ... لأنّ الماء كان يؤلمني كأنه طعنات خناجر. وكانت اهتزازات السيارة أو مشي الأشخاص فوق ألواح الأرضية أو تحدّث الناس مع بعضهم أو هبوب النسيم العليل ... تفجِّر الألم الذي لا يمكن السيطرة عليه. والأدوية المسكِّنة الشائعة ... حتى المورفين morphine، لم يكن لها أي تأثير، لقد كان الأمر يبدو وكأنّ عقلي يخدعني ويتلاعب بي.»

ولسوء الحظّ، كانت <هيلين> على صواب في رأيها، فألمها المزمن كان منشؤه خللا وظيفيا في دارات الجسم المتعلّقة بالألم، أدّى إلى إطلاقها المستمر إنذارا كاذبا، وهو ما ندعوه **بالاعتلال العصبي** neuropathic؛ لأنه ينجم عن سلوك خاطئ للأعصاب نفسها. وعندما تصل الإشارات الكاذبة إلى الدماغ، يكون الشعور بالألم المبرح الذي تحدثه حقيقيا مثله مثل أي ألمّ خطير مهدِّد للحياة، لكنه هنا يبقى ثابتا لا يزول أبدا، ويكون الأطباء في

(*) NEW CULPRITS IN CHRONIC PAIN

(1) يضم الجهاز العصبي المركزي نوعين من الخلايا العصبية (العصبونات) neural cells: الخلايا النورونية (النورونات ومفردها نورون neuron) والخلايا الدبقية glial cells (أو glia) أو الدبق العصبي. انظر في هذا العدد: «*المحافظة على خلايا الدماغ الجديدة*.»

(2) ج: قيِّم caretakers

(3) glial reactions

معظم الأحيان عاجزين عن تهدئته.

فـي نهايـة الأمر، تفسّـر لنـا الأبحاث الحديثة سـبب فشـل العقاقيـر التقليدية – فــي معظم الأحيان – في السـيطرة على ألم الاعتـلال العصبـي: قـد تكـون الأدوية تلك تسـتهدف النورونات فقط، في حين يمكن أن يكون المصدر المسـتبطن للألم هـو خلل أداء **خلايـا لا نورونيـة**[1] وهي الخلايـا الدبقية (خلايا الدبـق العصبي)، وهـي تتوضع في الدمـاغ وفي النخاع الشـوكي. وتبزغ حاليا أفكار وآراء جديدة بشأن معالجة الألم المزمن، نتيجة لما تحقَّق مؤخرا من تنبّه إلى أنّ الخلايا الدبقيـة – التـي تعمل أساسـا على رعاية نشاط النورونات وفعاليتها – يمكن أن تُصاب هي نفسـها بالاضطراب والخلل، وأن تشوّش وظيفـة النورونات وهي نفسـها فكرة مبتكرة لعلاج الألم المزمن. وتزودنا أيضا تلك الأفكار بوجهة نظر مفاجئة تتعلّق بالظاهرة المؤسـفة التي تلازم المعالجة الراهنة للألم الذي يصيب بعض الأشـخاص: وهي ظاهرة **الإدمان على المخدِّرات** narcotic addiction.

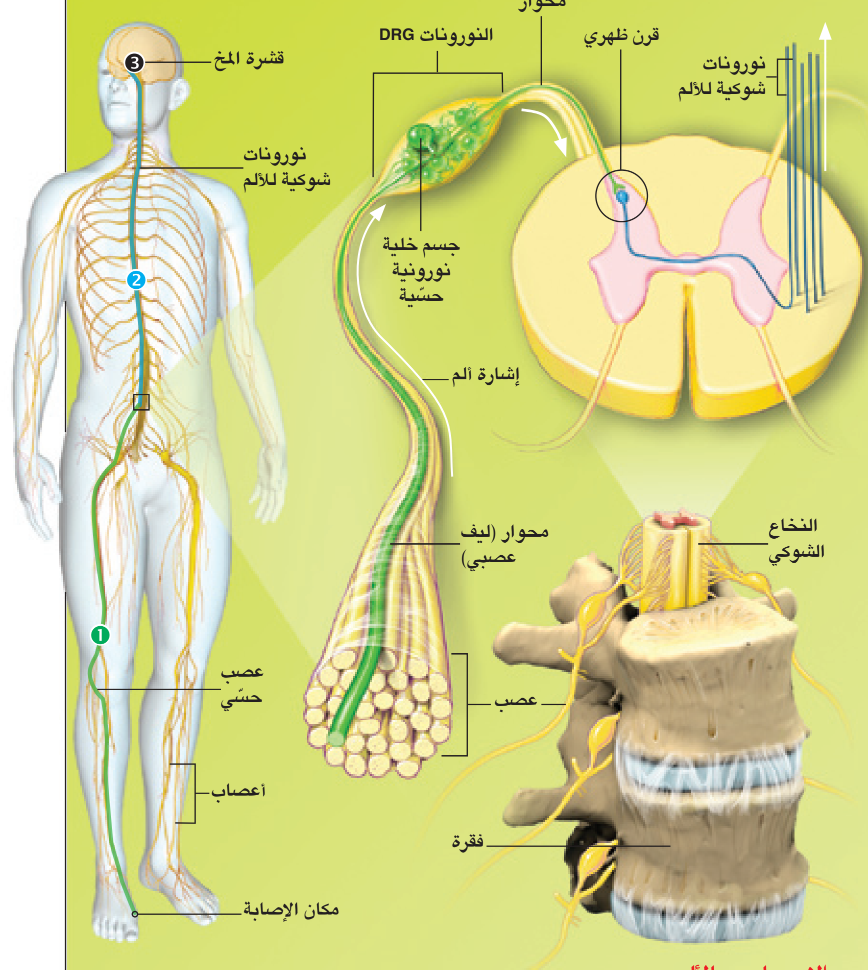
دارات الألم وفاصلاتها(*)

إنّ فهـم المسـبِّبات التي يمكـن أن تؤدي إلـى اسـتمرار الألم بعـد شـفاء الإصابة الأصلية، يسـتلزم بعض المعرفة عن مسبِّبات الألم بشـكل عام. فمع أنّ الإحساس بالأذية يتـمّ إدراكه في نهاية الأمر فــي الدماغ، فإنّ الخلايا العصبية التي تولده لا تتوضع هناك؛ بـل هي في واقع الأمـر تترتّب ضمن النخاع الشـوكي، حيث تجمع المعلومات الحسّية من جميع أنحاء الجسـم. تمثـل نورونات **عقدة الجـذر الظهـري** (DRG)[2] المرحلة الأولى من دارة الإحساس بالألم المكونة من ثلاثة أقسام، وتحتشـد أجسـام خلاياها مثل عناقيد من العنب في شـقوق مناطق الاتّصال بين فقرات العمود الفقري، فتشـبه بذلك – وهي تمتدّ من

[أساسيات]

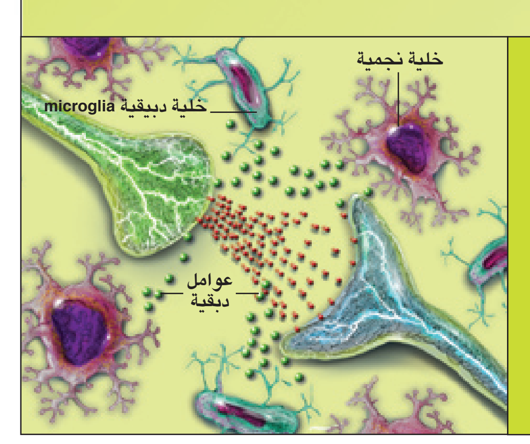
دارة الألم(**)

تسير الأحاسيس من منطقة الإصابة في الجسم عبر ثلاث مراحل من الدارة العصبية، قبل أن يتمّ إدراكها من قبل الدماغ وتفسيرها على أنها ألم. وفي نقطة الإبدال الواقعة في النخاع الشوكي حيث تنتقل الرسائل من المرحلة الأولى إلى المرحلة التالية، تقوم خلايا داعمة تُدعى الخلايا الدبقية glia cells بمراقبة سلوك النورونات وتنظيمه لتسهيل نقل الإشارات.



▲ الإحساس بالألم

بعد حدوث أذية ما - مثل كسر إصبع في القدم - تقوم أعصاب حسّية 1 مسؤولة عن التقاط التنبيهات الضارّة بحمل الإشارات من القدم إلى القرن الظهري للنخاع الشوكي. وفي داخل النخاع الشوكي تعيد تلك الألياف العصبية الحسّية بثّ الرسائل إلى نورونات مخصّصة لنقل حس الألم تقوم بدورها بحمل الإشارات صعودا ضمن النخاع الشوكي إلى قاعدة الدماغ 2. وعندما تصل الإشارات إلى قشرة المخ 3، يتمّ إدراكها وتفسيرها على أنها ألم.



◄ توافق المتنصِّتين

تُحاط النورونات بخلايا نجمية وخلايا دبقية ميكروية، وهي خلايا مساعدة توفر لتلك النورونات التغذية والحماية. وتُدعى هذه الخلايا الداعمة بشكل إجمالي بالخلايا الدبقية، وهي تقوم أيضا بمراقبة الفعالية العصبية وتنظيمها عن طريق المشاركة في عوامل تزيد الحساسية أو تخمدها حسب الحاجة، بهدف المحافظة على إرسال الإشارات العصبية.

(*) Pain Circuits and Breakers
(**) PAIN CIRCUITRY
(1) nonneuronal cells
(2) Dorsal root ganglion

العصعص حتى الجمجمـة - صفّي الأزرار اللذيـن نراهما على سـترة مزدوجة الصدر. وكل نورون DRG - وكأنه رجلٌ باسطٌ ذراعيه المفتوحتين إلــى كلا الجانبين - يمتد **مجسٌ** feeler نحيلٌ يُعرَف **بالمحوار** axon أو **الليف** fiber باتجـاه الخارج ليمسـح ناحية ضئيلة المسـافة من الجسم في حين يصل في الجهة المقابلـة محـواره الآخر إلى داخـل النخاع الشـوكي ليلامس نورونا يعيـد بثّ الدفعات عبـر المرحلة الثانية في مجموعة دارات الألم، وهي سلسـلة من نورونات النخاع الشوكي. وتتعاقـب تلك الخلايا الشـوكية الناقلة للألم فـي مهمة إعادة بث الرسـائل ضمن النخاع الشوكي انطلاقا من النورونات DRG صعودا إلـى المرحلة النهائية، حيـث تصل إلى جذع الدماغ وفي نهاية المطاف إلى قشرة المخ. وتعبر إشارات الألم داخل النخاع الشوكي الناشئة من الجانب الأيسر إلى الجهة الأخرى لتنتقل إلى الدماغ الأيمن، في حين تُرسَـل إشارات الجانب الأيمن إلى الدماغ الأيسر.

ويمكـن لمقاطعة سـيل المعلومات في أيّ نقطـة على طـول دارة الألـم ذات المراحل الثلاث، أن تؤدي إلــى تخفيف الألم الحادّ. وتقوم المبنِّجات الموضعية - مثل **النوڤوكايين** novocain الذي يسـتخدمه أطباء الأسـنان لخلع الأسنان من دون ألم - بتخدير نهايـات المحاويـر حول موضع الحقـن، فتمنع بذلك الخلايا المعنية من إطلاق الدفعات العصبية الكهربائيـة. **والإحصـار الشـوكي** «spinal block» - الـذي يُسـتخدم فـي كثيـر من الأحيان لإزالة الألم خـلال الولادة - يوقف دفعات الألم عند المرحلة الثانية للدارة، وذلك عندما تدخـل حزم محاوير النورونات DRG إلى النخاع الشـوكي لتلتقي مع النورونات الشوكية. وهذا الإحصارُ يبقي الأمَّ في حالة وعي تامّ كي تكتسـب الخبـرة وتتعاون في إنجـاز ولادتها لابنها مـن دون ألم. وتعمل حقنـة المورفين في الموضع نفسـه، فتنقص نقل النورونات الشـوكية لإشارات الألم، في حين تترك تعرّف بقية الأحاسيس غير المؤلمة سليما دون أن تؤثّر فيه. وفي المقابل، يتدخّل التخدير العامّ الذي يُسـتعمَل في العمليات الجراحية الكبرى في طريقة معاملة القشرة الدماغية للمعلومات، فتحرم المريض بشـكل كامل من تعرّف أيّ منبّه حسّـي يدخل عبر السبُل العصبيةِ خارج الدماغ.

تعمل مسكّنات الألم الطبيعية الكائنة في أجسامنا على تلك الوصلات الثلاث نفسها ضمـن دارة الألم. فيمكـن أن يعاني جندي مشـحون بالأدرينالين - خلال مشاركته في معركـة حامية - إصابةً خطـرة من دون أن يشـعر بجرحه، وذلك لأنّ القشرة الدماغية تتجاهل إشـارات الألم عندمـا تتعامل مع أوضاع تتّسـم بالانفعال الشـديد بسـبب تهديدهـا للحياة. وخلال الـولادة الطبيعية للأطفال، يقوم جسم المرأة بإطلاق پروتينات صغيـرة تُدعى **الإندورفينـات** endorphins، تقوم بإضعاف نقل إشـارات الألم في حين تدخل إلى النخاع الشوكي.

وتسـتطيع أيضا الهرمونـات والأوضاع الانفعاليـة والعديد من العوامـل الأخرى أن تغيّر بشـكل دراماتيكي من شعور الشخص بالألم عن طريق تعديل نقل الرسائل على طول مسـارات الألم. إضافةً إلى ذلك، فإنّ الكثير مـن المواد والعمليات الحيويـة التي تبدّل في انسـياب وانحسـار الجزيئات عبر القنوات الأيونية في الخلايا العصبية المنفردة، تسـهم جميعها في تنظيم مدى حساسـية الأعصاب نفسها. وحين حدوث إصابة ما تستطيع هذه العوامل أن تسهّل التحكّم في إطلاق النورونات لإشاراتها، وبذلك تمارس تأثيرا ميسِّرا لعمل تلك النورونات المتعلّق بنقل إشارات الألم.

ولكن يمكن لحالة عدم التثبيط تلك أن تدوم أكثر من اللازم، وهذا يُبقي الخلايا DRG مفرطةً في حساسـيتها، ويؤدي إلى إطلاقها رسائل ألم من دون وجود منبِّه خارجي. وهذا الوضع هو المسـبِّب الأولي لألم الاعتـلال العصبي. وتسـتطيع الحساسية العصبية الزائدة أيضا

مَسْرَد

ألم الاعتلال العصبي Neuropathic Pain

ألم مستمرّ يتطوّر بعد حدوث تلَف عصبي تالٍ لإصابة مؤذية، ويمكن أن يتضمَّن أحاسيس مزعجة والشعور بنمَل وحرق ودغدغة وحرارة وبرودة وتورّم. والأسباب الأخرى التي تحدث تلفا عصبيا يؤدي إلى ألم الاعتلال العصبي تشتمل على إصابة الأعصاب بخمج (عدوى) ڤيروسي، وأضرار الأعصاب المحيطية الناجمة عن الداء السكري؛ وأذيات الأعصاب التالية لعلاج الأورام الخبيثة بالجراحة أو بالمعالجات الكيميائية؛ والآفات الناجمة عن العوز الغذائي.

الألم المخالف Allodynia

إدراك حسي مؤلم لمنبهات غير مؤلمة كاللمس أو الحرارة.

فرط التألّم Hyperalgesia

زيادة في الحساسية تجاه المنبّهات المؤلمة.

فرط الحسّ Hyperesthesia

زيادة الحساسية تجاه التنبيه (أي إنه فرط تألّم مع ألم مخالف).

المذَل (شواش الحسّ) Paresthesia

شعورٌ حسّي غير سويّ، مثل الإحساس بحرقٍ استجابةً للمس.

الإفراط في شيء جيِّد(*)

بعد حدوث أذية ما، ترتكس الخلايا الدبقية التي تستشعر أنّ النورونات ذات الإطلاق المكثَّف للدفعات هي في ضائقة، وذلك كي تعيد التوازن وتحفز الشفاء. ولكنْ إذا طالت مدة هذه التبدّلات المفيدة، فإنه من الممكن أن تؤدي إلى حدوث فرط تحسّس عصبي مزمن يسبّب بقاء الألم مستمرا حتى ما بعد شفاء الأذية الأصلية. وفي معظم الأحيان، يبدأ ألم الاعتلال العصبي بحدوث تلَف في الأعصاب يثير استجاباتٍ في الخلايا الدبقية، تهيّج بدورها النورونات إلى حدٍ أكبر.

◄ تفعيل الخلايا الدبقية

تؤدي الأذية التي تتلف الألياف العصبية إلى إنتاج وابل من الإشارات الألمية في القرن الظهري للنخاع الشوكي، حيث تلتقي الأعصاب الحسية المحيطية مع النورونات الشوكية للألم. ويولد النورون الحسّي ذو الإطلاق المكثّف للدفعات كميات كبيرةً من النواقل العصبية إلى جانب جزيئات أخرى، تفسِّرها الخلايا الدبقية باعتبارها دلالات على وجود ضائقة ❶، فيُدخل الخلايا المساعدة في حالة الاستجابة الارتكاسية. وتتخلّص الخلايا الدبقية في الحالة الطبيعية من فائض النواقل العصبية، ولكنّ الخلايا الدبقية الارتكاسية تنقص من قبطها للنواقل العصبية، وتبدأ بإنتاج جزيئات غايتها إعادة الاستقرار إلى النورونات وشفاؤها ❷. وتقوم تلك العوامل الدبقية إمّا بإنقاص القوى المثبِّطة للنورونات أو بتنبيه هذه الخلايا، وهذا يسمح لها بأن تطلق دفعاتها بشكل أكثر سهولةً. وتؤدي الضائقة العصبية أيضا إلى تحرير الخلايا الدبقية للسيتوكينات ❸، التي تحثّ على حدوث الالتهاب باعتباره استجابة تساعد على الشفاء والالتئام، لكنها تزيد أيضا تحسيس النورونات بدرجةٍ أكبر.

خلايا دبقية تطيل أمد الألم

تستطيع الإشارات الإثارية ـ الالتهابية التي تحدثها الخلايا الدبقية الارتكاسية أن تفعِّل النسيج الدبقي المجاور، وهذا يقود إلى إدامة فرط التحسّس العصبي في النخاع الشوكي وانتشاره. ويبدو الدبق النجمي الخلايا astroglia الشوكي المنشَّط مرئيا في الصورة السفلية *(اللون الأخضر الساطع في الصورة اليسرى)*، حيث نجده يملأ القرن الظهري الأيمن ـ في الموضع الذي تلتقي عنده النورونات DRG بالنورونات الشوكية ـ لدى جرذ أصيب قبل 10 أيام من ذلك بأذية للعصب الوركي في الطرف السفلي الأيمن للحيوان. وفي المقابل، تبدو الخلايا الدبقية هادئة في الجهة اليسرى للحيوان *(الصورة السفلية اليمنى)*.

أن تسبِّب إحساسات شاذّة مثل الشعور بالنخز والحرق والدغدغة والتنمُّل (**تشوش الحس** paresthesia)، أو يمكن ـ كما حدث في شكوى «هيلين» من تحوّل ماء الدّش (المرشّة) إلى ما يشبه طعنات الخناجر ـ أن تؤدي إلى تضخيم الإحساسات الخفيفة باللمس أو بتغيّر درجة الحرارة بحيث توصلها إلى مستويات مؤلمة (**الألم المُخالِف** allodynia).

إنّ الجهود التي بُذلت لفهم الكيفية التي تصير وفقها النورونات في دارة الألم مفرطة الحساسية بعد حدوث الإصابة، تركّزت لفترة طويلة على كشف الخلل في عمل النورونات ذاتها، وقد نتج من ذلك حصولُنا على بعض الأدلة، وليس على صورة مكتملة. وعلى سبيل المثال، بيَّن البحث الذي قمتُ به بنفسي، وكذلك أبحاث العديد من زملائي، أنّ فعل إطلاق الدفعات من أجل إرسال إشارات الألم بذاته يبدِّل في فعالية الجينات داخل نورونات الألم. وإنّ بعض الجينات التي ينظمها الإطلاق النوروني للدفعات تكوِّد القنوات الأيونية وكذلك موادَّ أخرى تقوم برفع سوية

(*) TOO MUCH OF A GOOD THING

حقائق عن الألم(*)

10% إلى 20%
من سكان الولايات المتحدة وأوروبا يذكرون شكواهم من ألم مزمن.

59%
من الذين يعانون ألما مزمنا هم من الإناث.

18%
من البالغين المصابين بألم مزمن يلجؤون إلى المعالجين بالطب البديل.

15% فقط
من أطباء العناية الأولية ـ حسب استقصاء أجري حديثا ـ يشعرون بالراحة عندما يعالجون مرضى لديهم ألم مزمن.

41%
من الأطباء قالوا إنهم سوف ينتظرون حتى يطلِب المرضى بشكل واضح ومحدَّد تلقّي مسكّنات للألم من النوع المخدِّر قبل أن يقوموا بوصفها لهم.

حساسية الخلايا. وهكذا، يستطيع التفعيل الشديد للخلايا DRG الذي يرافق تأذّي الأنسجة أن يُحدث تلك الأنماط من التغيّرات التحسيسية في النورونات المعنية التي يمكن أن تؤدي فيما بعد إلى نشوء ألم الاعتلال العصبي. ولكنّ دراستنا وكذلك الأعمال التي قامت بها مختبرات أخرى، كشفت أيضا أنّ النورونات ليست الخلايا الوحيدة التي تستجيب للإصابات المؤلمة وتطلق المواد المعزِّزة للحساسية العصبية.

تتفوق الخلايا الدبقية على النورونات من الناحية العددية بمقدار كبير في النخاع الشوكي وفي الدماغ. ولا تقوم الخلايا الدبقية بإطلاق الدفعات الكهربائية مثلما تفعل النورونات، لكنها تتمتّع ببعض الميّزات المهمة والمثيرة للانتباه فيما يتعلّق بالتأثير في إطلاق النورونات لتلك الدفعات. وتحافظ الخلايا الدبقية على مواصفات الوسط الكيميائي الذي يحيط بالنورونات: ففضلا عن تأمين نقل الطاقة التي تدعم الخلايا العصبية، يقوم هذا النسيج بامتصاص النواقل العصبية التي تحرِّرها النورونات عندما تطلق دفعاتها نحو النورونات المجاورة لها. بل إنّ الخلايا الدبقية تقوم أحيانا بتوزيع النواقل العصبية من أجل زيادة أو تعديل نقل الإشارات النورونية. وعندما تُصاب النورونات بالأذية، تحرِّر الخلايا الدبقية عواملَ نمو تساعد على شفاء النورونات وبقائها على قيد الحياة، كما تحرِّر موادَّ تستدعي خلايا تابعة للجهاز المناعي كي تكافح **العدوى (الخمج)** infection وتشرع في عملية الشفاء والالتئام. ومع ذلك، تكشف الأبحاث الحديثة أنّ تلك الفعاليات التي تقوم بها الخلايا الدبقية بغرض رعاية النورونات وتسهيل نشاطاتها، يمكن لها أيضا أن تطيل أمد حالة **التحسيس النوروني**(1).

الخلايا الدبقية تصير مشتبها فيها(**)

قبل أكثر من قرن من الزمن، عرف العلماء أنّ الدبق العصبي يستجيب للأذيات. وفي ألمانيا، لاحظ <F. نيسِّل> عام 1894 أنه بعد تعرّض عصب ما للضرر، تبدي الخلايا الدبقية تغيّرات دراماتيكية في البقع الموافقة لأماكن اتّصال الألياف العصبية مع بعضها ضمن النخاع الشوكي أو الدماغ. **فالخلايا الدبقية الميكروية** microglia تصير أكثر غزارةً، كما أنّ نمطا أكبر حجما من الخلايا - تُدعى **بالخلايا النجمية** astrocytes بسبب شكل أجسامها الخلوية الشبيه بالنجوم - يصير أكثر امتلاءً مع انتفاخ الخلايا بحزم ثخينة من الألياف الخيطية التي تقوّي هيكلها الخلوي.

عموما، كان فهم الاستجابات الدبقية المذكورة أعلاه على أنها تهدف إلى تعزيز إصلاح الأعصاب بعد تعرّضها للإصابة، لكنّ الكيفية التي تقوم بواسطتها بهذا الأمر كانت غير واضحة. والأكثر من ذلك، أنه إذا كان موقع الإصابة - كما هو الحال مثلا في التواء الكاحل - بعيدا عن دارة الألم الشوكية، فإنّ الخلايا النجمية في النخاع الشوكي يجب أن تستجيب ليس للأذية المباشرة، بل بالأحرى للتغيّرات في إرسال الإشارات في نقطة الإبدال بين الخلايا DRG والنورونات الشوكية. وتعني الملاحظة السابقة أنّ الخلايا النجمية والخلايا الدبقية الميكروية كانت تراقب الخصائص الفيزيولوجية لنورونات الألم.

وعلى مدى العقدين الماضيين تمَّ إظهار أنّ الخلايا تمتلك آليات عدة لاكتشاف النشاط الكهربائي في النورونات، ومن ضمنها قنواتٌ لاستشعار البوتاسيوم وغيره من الأيونات التي تحرِّرها النورونات عندما تطلق دفعاتها الكهربائية، وكذلك مستقبلاتٌ سطحية تستشعر النواقل العصبية نفسها التي تستخدمها النورونات للاتّصال فيما بينها عبر **المشابك** synapses. ومن بين النواقل العصبية المهمّة التي تحرِّرها النورونات وتلتقطها الخلايا الدبقية، نجد **الغلوتامات** glutamate وثلاثي **فُسفات**

(*) PAIN FACTS
(**) Glia Become Suspect
(1) neural sensitization

الأدينوزين ATP و**أكسيد النتريك** nitric oxide، ولكن هناك نواقل أخرى عديدة. وهذه المصفوفة من **المحسات (المشعرات)** sensors تسمح للخلايا الدبقية بأن تُجري مسحا للنشاط الكهربائي في الدارات النورونية في كل مكان من الجسم ومن الدماغ، وبأن تستجيب وفقا للأوضاع الفيزيولوجية المتغيّرة [انظر: «*النصف الآخر من الدماغ*»، **العلوم**، العددان 2/1 (2004)، ص 46].

وما أن أدرك العلماء مدى اتّساع استجابات الخلايا الدبقية للفعالية العصبية، حتى عادوا يوجّهون انتباههم إلى السلوك المشبوه للخلايا الداعمة عند نقاط ترحيل الألم. فإذا كانت الخلايا الدبقية تراقب الانتقالات العصبية للألم، فهل كانت أيضا تؤثر في تلك الانتقالات؟ وبعد مئة عام بالضبط من ملاحظة <نيسّل> لاستجابة الخلايا الدبقية للإصابات المؤذية للأعصاب، تمَّ إجراء تجربة بسيطة لاختبار فرضية أن الخلايا الدبقية يمكن أن تسهم في إحداث ألم مزمن. ففي عام 1994 حقن <S. T. ميلّر> [وزملاؤه في جامعة أيوا] بعض الجرذان بذيفان يقتل بشكل انتقائي الخلايا النجمية، وقاموا بعد ذلك بتقييم ما إذا كانت حساسية تلك الحيوانات للتنبيهات المؤلمة قد نقصت. وفي النتيجة، تبيَّن عدم حدوث ذلك، وهذا ما دلَّ على أنّ الخلايا النجمية ليس لديها دور واضح في عملية انتقال الألم الحاد.

بعد ذلك، قام العلماء بتعريض الجرذان إلى مهيّج للألياف العصبية، يسبِّب تطوّرا تدريجيا لألم مزمن عند تلك الحيوانات، وهذا يشبه إلى حد بعيد ما اختبرته <هيلين> بعد مدة طويلة من حادث السيارة الذي هيَّج الأعصاب في كاحل قدمها. وقد لوحظ أنَّ الحيوانات المحقونة بالسمّ القاتل للخلايا النجمية، تطور عندها الألم المزمن بدرجة أقلّ، وهذا يبيّن أنّ الخلايا النجمية مسؤولة بطريقة ما عن بدء الألم المزمن بعد إصابات مؤذية للأعصاب. وقد أظهرت الأبحاث التي أجريت لاحقا كيف يتم ذلك.

تحرِّر الخلايا الدبقية أنماطا عدة من الجزيئات تستطيع أن تزيد حساسية الخلايا DRG والنورونات الشوكية التي تعيد بثّ إشارات الألم إلى الدماغ، وهذه الجزيئات تتضمَّن عوامل نمو وبعضا من النواقل العصبية نفسها التي تنتجها النورونات ذاتها. وتوصَّل العلماء إلى إدراك حقيقة أنّ الخلايا الدبقية تفسِّر الإطلاق السريع للدفعات العصبية والتبدّلات العصبية الناجمة عن ذلك، باعتباره علامة تدلّ على ضائقة تمرّ بها النورونات. واستجابةً لما سبق، تطلق الخلايا الدبقية الجزيئات التحسيسية من أجل تخفيف الشدة المفروضة على النورونات عن طريق تسهيل إرسالها لإشاراتها ولتبدأ عملية شفائها.

وهناك فئةٌ أخرى من الجزيئات ذات الأهمية القصوى تولدها الخلايا الدبقية استجابةً لضائقة النورونات أو تلفها، وهي **السيتوكينات** cytokines التي استمدّت اسمها من اختصار كلمة «**سيتوكينيتيك**» cytokinetic التي تعني الحراك الخلوي. وهذه السيتوكينات تعمل كمرشدات كيميائية قوية، تتبعها خلايا الجهاز المناعي كي تصل إلى موقع الإصابة المؤذية. خذ في الاعتبار مثلا المشكلة الجسيمة - الشبيهة بإيجاد إبرة ضمن كومة قش - التي تواجهها خلية من جهاز المناعي، عندما تريد إيجاد شظية ضئيلة مطمورة في نهاية إحدى أصابعك. إنَّ الخلايا التي أوقعت الشظية الضرر بها تقوم بتحرير سيتوكينات قوية، ترشد خلايا الجهاز المناعي الموجودة في الدم و**اللمف** lymph كي تسرع إلى نهاية إصبعك من أجل مكافحة العدوى (الخمج) والشروع في عملية الترميم والإصلاح. وهذه السيتوكينات تحثّ أيضا على حدوث تبدّلات في الأنسجة وفي الأوعية الدموية الموضعية، بحيث تسهِّل عمل الخلايا المناعية وتعزِّز الشفاء والالتئام، لكنها تسبِّب كذلك احمرارَ المنطقة وتورّمها. وتُدعى

عوامل الخطورة للألم المزمن في العنق أو الظهر(*)

- تقدّم العمر
- عدم ممارسة الرياضة
- القلق
- البدانة
- الجنس المؤنث
- عمل تكراري Repetitive work
- الاكتئاب
- رفع أشياء ثقيلة
- الشدة (الكرَب) Stress
- السكَن بشكل منفرد
- الاستياء وعدم الرضا في العمل
- استعمال النيكوتين (التدخين)



(*) RISK FACTORS FOR CHRONIC NECK OR BACK PAIN

التأثيرات الناجمة عن إشــارات السيتوكينات بشكل إجمالي باسم **التهاب** inflammation.

يوضِّــح مثــال الشــظية مــدى فعالية السيتوكينات في توجيه الخلايا المناعية نحو جرح ما، لكنْ ما يثير قدرا أكبر من التعجّب هو كيف تستطيع شظية صغيرة جدا أن تكون مؤلمة إلى هذه الدرجة: فالألم الناتج بعيد تماما عن أن يتناسب مع المقدار الضئيل من التلف النســيجي الذي يشــكو منه المصاب. كذلك ســرعان ما تصير المنطقة المحيطة بالشظية متورّمة وحساسّة ومؤلمة، مع أنّ هذه الخلايا الجلدية المجاورة لم تُصَــب هي بذاتها بأيّ أذى. وينجــم الألم الذي يحيط بالإصابة عن فعل آخر للسيتوكينات الالتهابية: إنه قيامها بالتضخيم الشــديد لحساسية ألياف الألم. وفرط تحســيس الكشّــافات الحسية للألم في المناطق المجــاورة لإصابة ما، هو طريقة الجســم في جعلنا ندَع ذلك الموقع وشــأنه، وهذا ما يمنحه الفرصة للشفاء.

وكقاعــدة عامة، لا تَصدر الســيتوكينات في الجهاز العصبي عــن نورونات، فالخلايا الدبقية هي ذلك المصدر. وتماما كما تستطيع أن تقوم به السيتوكينات عندما تجعل نهايات الأعصاب المحيطة بالشظية في طرف إصبعك مفرطــة الحساســية، تتمكّن الســيتوكينات المتحــرِّرة من الخلايــا الدبقية فــي النخاع الشــوكي استجابةً للإفراط في إشارات الألم أن تنتشــر إلــى الألياف العصبيــة المحيطة، فتجعلهــا هــي أيضــا مفرطة الحساســية. وهكذا، يمكن أن تتشــكّل حلقة تبدأ بنورونات زائدة التحســيس تطلق دفعاتها بشكل مُبالَغ فيــه، حيث ينقل ذلك الخلايا الدبقية إلى حالة الاســتجابة الارتكاســية، ومن ثَــمّ تقوم هذه الخلايا بصبّ المزيد من العوامل التحسيسية ومن الســيتوكينات، محاولةً عــن طريق ذلك أن تخفّف ضائقــة النورونات، ولكــن مؤدِّيةً في النهايــة، بدلا من ذلك، إلى زيادة مدة تلك الضائقة، وعندما يحدث الأمر الســابق يمكن أن يتولَّد الألم ضمن النخاع الشوكي من ألياف عصبية لم تُصَب بشكل مباشر بالأذية.

إنّ الاســتجابات الأولية للخلايا الدبقية مفيدةٌ من أجل الشــفاء عند حدوث إصابة، ولكــن في حال كانت هذه الإصابة شــديدة للغايــة أو دامت كثيرا، فإنّ نتيجة ذلك تكون نشــوء ألم مزمن لا يتوقّــف أبدا. وقد أكّدت بشــكل موثّق مجموعات عدّة تقوم بالأبحاث وجودَ **حلقــات ارتجاعية**[1] feedback loops، يمكن أن تســبِّب إطالة زمن تحرير الخلايا الدبقيــة للعوامل التحسيســية وإشــارات الالتهــاب، وهذا مــا يقود إلى حــدوث ألم الاعتلال العصبي. ويجــري العديد من تلك المجموعات حاليا تجاربَ هدفها إيجاد الطرق الكفيلة بعكس مســار تلــك العمليات. وقد قادت أبحاث هذه المجموعات إلى اكتشــاف طرق تفيد في جعل اســتعمال المخدِّرات في معالجة الألم الحادّ أكثر كفاءةً.

(*) Glia Oppose Opiates

(1) أو: حلقات تغذية راجعة.

[التحمّل الدوائي]

الدبق العصبي (الخلايا الدبقية) يناوئ الأفيونيات[*]

كان من الاكتشافات المذهلة التي حصلت في السنوات الأخيرة ظهورُ أنّ الدبق العصبي يؤدي دورا مسبِّبا فقدان مسكِّنات الألم الأفيونية لفعاليتها. فقد بيَّنت <L. R. واتكينز> [من جامعة كولورادو في بولدر] أنّ المورفين والميثادون وأفيونيات أخرى على الأرجح تفعِّل بشكل مباشر الدبق العصبي في النخاع الشوكي، فتؤدي إلى حدوث استجابات دبقية تعاكس تأثيرات تلك الأدوية المسكِّنة للألم. تبدأ الخلايا المساعدة المفعَّلة بالتصرف بشكل يشابه إلى حدٍّ بعيد ما تقوم به بعد إصابة العصب بالأذية، حيث تأخذ بلفظ السيتوكينات الالتهابية وغيرها من العوامل التي تفعل فعلها المتمثّل بتحسيس النورونات بشكل مفرط. وأظهرت <واتكينز> أنّ التأثير المذكور يبدأ خلال أقلّ من خمس دقائق بعد الجرعة الدوائيةً الأولى.

عبر جعل النورونات مفرطة القابلية للاستثارة، يتغلب فعل الخلايا الدبقية على التأثيرات المُخمِدة للنورونات التي تقوم بها تلك الأدوية في الحالة العادية، وهذا ما يفسِّر لماذا يحتاج المرضى في معظم الأحيان إلى جرعات دوائية متزايدة بشكل متواصل لتفريج آلامهم. ومن المحتمَل أن تكون الآلية نفسها مسؤولة أيضا عن الفشل المتكرر للأفيونيات في إزالة ألم الاعتلال العصبي المزمن، عندما يكون الدبق العصبي الارتكاسي هو الذي يقف خلفه.



إيقاف الألم عند مصدره(*)

في الماضي كانت جميع علاجات الألم المزمن تتوجّه نحو إخماد فعالية النورونات، لكن لم يكُن بالمستطاع التغلّب على الألم في حال استمرار الخلايا الدبقية بتحريض خلايا الأعصاب. وتقودنا حاليا آراء بصيرة جديدة حول كيفية دخول الخلايا الدبقية في حلقتها المعيبة المحسِّسة للأعصاب إلى مقاربات حديثة تستهدف الخلايا الدبقية المختلّة الوظيفة، وهي تأمل بأن تتمكّن في ذلك من إيقاف مصدر أساسي لألم الاعتلال العصبي. ولهذا فإن الجهود التجريبية لمعالجة ألم الاعتلال العصبي عن طريق تعديل حالة الخلايا الدبقية تتركز على تهدئة هذه الخلايا، وذلك من خلال حصر الإشارات والجزيئات المثيرة للالتهاب ونقل إشارات مضادّة للالتهاب.

وفي التجارب الحيوانية، على سبيل المثال، قامت <A. J.> ديليو> وزملاؤها [من المدرسة الطبّية في دارتموث] بإظهار أنّ مادة كيميائية تُدعى **بروبينتوفيللين** propentofylline تثبّط تفعيل الخلايا النجمية، ومن ثم تخمد الألم المزمن. ويمنع **المضاد الحيوي (الصاد)** antibiotic المدعو **مينوسيكلين** minocycline كلا من النورونات والخلايا الدبقية من أن تصنع السيتوكينات الالتهابية وأكسيد النتريك، كما ينقص هجرة الخلايا الدبقية الميكروية باتّجاه مواقع الإصابات، وهذا يقترح إمكانية قيام الدواء المذكور بمنع حدوث فرط تنشيط الخلايا الدبقية.

تركز مقاربة مشابهة على مستقبلات شبيهة **بقرع الناقوس** (TLRs)[1]، وهي بروتينات سطحية موجودة على الخلايا الدبقية، تقوم بتعرّف مؤشّرات محدَّدة تدلّ على الخلايا التي هي في حالة ضائقة، وتحثّ الخلايا الدبقية على البدء بنفث السيتوكينات. وقد أظهرت <L. R.> واتكينز> وزملاؤها [من جامعة كولورادو في بولدر] أنه إذا استعملنا لدى الحيوانات مركبا تجريبيا يحصر **نمطا جزئيا** subtype خاصّا من المستقبلات TLR يُدعى TLR-4 على الخلايا الدبقية في النخاع الشوكي، فإنّ ذلك يُبطِل ألم الاعتلال العصبي الناشئ عن أذية العصب الوركي. ومن المثير للاهتمام أنّ **النالوكسون** naloxone ـ وهو دواء يُستعمَل لتخفيف آثار **الأفيونات** opiates خلال معالجة الإدمان ـ يحصر أيضا الاستجابات الدبقية لتفعيل المستقبلات TLR-4. وقد أوضحت <واتكينز> أنّ النالوكسون يستطيع لدى الجرذان أن يبطل تماما ألم الاعتلال العصبي المتطوِّر.

وهناك دواء آخر موجود حاليا ـ هو في الحقيقة مادة استُخدمت منذ عهود قديمة للغاية من أجل تسكين الألم حيث تنجح في ذلك عندما تفشل مواد عديدة أخرى ـ وهو **الحشيش** marijuana الذي صار استعماله في الأمور الطبية قانونيا في

[الأدوية]

تهدئة الدبق العصبي (الخلايا الدبقية) المفرط الارتكاس(**)

هناك العديد من المواد التي تبيَّنت قدرتها على تعديل فعالية الدبق العصبي، ويُجرى اختبارها حاليا كمعالجات ممكنة لتدبير ألم الاعتلال العصبي أو لإنقاص تحمّل الأفيونات ومتلازمة سحبها. (تدل العلامات النجمية على الأدوية التي سبق تسويقها لاستعمالات أخرى).

المادة	الآلية	مرحلة الاختبار
AV411 *	يثبّط فعالية الخلايا النجمية.	اختبارات على البشر تتعلّق بالنجاعة في تعزيز فعل المورفين وإنقاص أعراض متلازمة السحب؛ اختبارات السلامة والأمان من أجل علاج الألم تمّ اكتمالها.
إيتانيرسيبت* Etanercept	إشارات مضادّة للالتهاب تهدِّئ الخلايا الدبقية.	اختبارات على البشر تتعلّق بإنقاص ألم الاعتلال العصبي بعد الجراحة.
إنترلوكينات* (سيتوكينات)	إشارات مضادّة للالتهاب تهدِّئ الخلايا الدبقية.	اختبارات على الخلايا وعلى الحيوانات لعلاج الألم.
JWH-015	يفعِّل مستقبلات الكانابينويد CB2 المُخمِدة للألم.	اختبارات على الخلايا وعلى الحيوانات لعلاج الألم.
ميثيونين سولفوكسيمين* Methionine sulfoximine	يثبِّط عملية مُعالَجة الخلية النجمية للنواقل العصبية.	اختبارات على الخلايا وعلى الحيوانات لعلاج الألم.
مينوسيكلين* Minocycline	يثبّط تفعيل الخلايا الدبيقية.	اختبارات على الخلايا وعلى الحيوانات لعلاج الألم.
بروبينتوفيللين Propentofylline	يثبّط فعالية الخلايا النجمية.	اختبارات السلامة والأمان على البشر من أجل علاج ألم تمّ اكتمالها.
ساتيفكس* Sativex	يفعِّل مستقبلات الكانابينويد	اختبارات على البشر تتعلّق بالنجاعة في علاج ألم الاعتلال العصبي المرتبط بالسرطان والمرتبط بفيروس العوز المناعي البشري (الإيدز) -HIV related وعلاج اعتلال الأعصاب السكري.
SLC022	يثبّط فعالية الخلايا النجمية	اختبارات على البشر تتعلّق بالنجاعة في علاج ألم الاعتلال العصبي المرتبط بفيروس الحلأ.

(*) Stopping Pain at Its Source
(**) QUIETING OVERACTIVE GLIA
(١) Toll-like receptors

بعض الولايات. فالمواد الموجودة في الحشيش تحاكي مركّبات طبيعية موجودة في الدماغ تُدعى **الكانابينويدات** cannabinoids، وهذه المركّبات تفعِّل مستقبلات معيّنة على النورونات وتنظِّم انتقال الإشارات العصبية.

ولكن لا بد من الانتباه إلى أن هناك نمطين من مستقبلات الكانابينويد في الدماغ والجهاز العصبي: المستقبلات CB1 والمستقبلات CB2، ولكلٍّ منهما وظيفة مختلفة عن وظيفة النمط الآخر. ويؤدي تفعيل المستقبلات CB2 إلى إزالة الألم في حين يُحدِث تفعيل المستقبلات CB1 التأثيرات **ذات المفعول النفسي** psychoactive للحشيش. وبشكل لافت للنظر، لا تظهر المستقبلات CB2 المزيلة للألم على نورونات الألم، بل نجدها على الخلايا الدبقية. وعندما ترتبط الكانابينويدات بالمستقبلات CB2 على الخلايا الدبقية، تقلّ هذه الخلايا إرسالها لإشارات الالتهاب. وقد وجدت الدراسات الحديثة أنه مع تطوّر الألم المزمن، يزداد عدد المستقبلات CB2 على الخلايا الدبقية الميكروية، وهذه علامة على أنّ الخلايا تحاول بإقدام أن تلتقط مقدارا أكبر من الكانابينويدات من المناطق المجاورة لها، كي تؤمِّن التفريج المسكِّن للألم. وحاليا تسعى شركات صناعة المستحضرات الدوائية جاهدة من أجل الحصول على أدوية يمكن استعمالها للسيطرة على الألم عن طريق التأثير في المستقبلات CB2 الدبقية من دون أن يؤدي ذلك إلى رفع مزاج من يستعملها من الأشخاص.

لقد أدّى أيضا حصر السيتوكينات الالتهابية بواسطة الأدوية المضادة للالتهاب الموجودة حاليا - مثل **الأناكينرا** anakinra (**كينيريت** Kineret) و**الإيتانيرسيبت** etanercept (**إينبريل** Enbrel) - إلى تخفيف ألم الاعتلال العصبي في النماذج الحيوانية.

وإلى جانب إيقافها إشارات الالتهاب، بيَّنت مجموعات عديدة من الباحثين أنّ إضافة سيتوكينات مضادة للالتهاب (مثل الإنترلوكين-10 والإنترلوكين-2) تستطيع أن تقمع ألم الاعتلال العصبي عند الحيوانات. ويوجد حاليا دواءان - هما **البنتوكسيفيللين** pentoxyfilline وAV411 يثبّط كلاهما الالتهاب بواسطة حثّ الخلايا على إنتاج الإنترلوكين-10. إضافة إلى ذلك، استطاعت مجموعات تقوم بأبحاث منسَّقة أن تبطل ألم الاعتلال العصبي لمدة وصلت إلى أربعة أسابيع، عن طريق نقل الجينات المسؤولة عن إنتاج الإنترلوكين-10 والإنترلوكين-2 إلى داخل عضلات الحيوانات أو نخاعاتها الشوكية.

لم يُستخدَم سوى عدد قليل من الأدوية السابقة في التجارب عن الألم التي أجريت على البشر [*انظر الجدول في الصفحة 45*]، ومن بين هذه الأدوية القليلة نجد الدواء AV411 الذي سبق أن تمَّ إدخاله في اليابان كعلاج مضاد للالتهاب في تدبير السكتات الدماغية. وأظهرت تجربة أجريت في أستراليا أنّ المرضى المتألمين أنقصوا بشكل طوعي مقدار جرعاتهم من المورفين خلال تلقّيهم ذلك الدواء، وفي هذا دلالة على أنّ الدواء AV411 يسهم في تفريج آلامهم. ولكن من المُحتمَل أن يكون الدواء AV411 يقوم بعمله هذا عن طريق آليات تتجاوز مجرَّد تهدئة الألم الناجم عن الالتهاب، وهذا ما يسلِّط الضوء على انعطاف مفاجئ في حكاية الخلايا الدبقية والألم.

استعادة التوازن(*)

يُعتبَر المورفين من بين أكثر مسكِّنات الألم المعروفة قوةً، ولكنّ الأطباء يحذرون من استعماله بسبب خواصه الشيطانية، إلى درجة أنّ العديد منهم سوف يستخدمونه بشكل أقلّ من اللازم حتى لمعالجة المرضى المصابين بأورام سرطانية في مراحلها النهائية. يشبه المورفين **الهيروين** heroin و**الأفيون** opium والمخدِّرات الحديثة مثل **الأوكسي كونتين** OxyContin في أنه يخفِّف الألم عن طريق إضعاف الاتصال بين نورونات النخاع الشوكي، وبذلك يقلِّل انتقال إشارات الألم.

ولسوء الحظ، سرعان ما تتلاشى قدرة المورفين وبقية المخدِّرات على إحصار الألم مع الاستعمال المتكرر، وهذه الظاهرة تُسمّى **التحمّل الدوائي** tolerance. وهكذا، نحتاج إلى جرعات بمقدار أعلى وتواتر أكثر من أجل تحقيق الأثر نفسه. ويمكن أن يصير المرضى المصابون بألم مزمن مدمنين على المخدر، فيتفاقم وضعهم البائس بسبب هذا **الاعتماد على المخدر** drug dependency. ونتيجة خوف الأطباء من أن يُشتبَه في كونهم لا يصفون للعلاج تلك الكميات الكبيرة من المخدِّرات بل يتاجرون بها، فإنهم في معظم الأحيان يُجبَرون على تحديد جرعات المرضى وفق مستويات لم تَعُد فعّالة في إزالة آلامهم المبرحة. ويلجأ بعض المرضى إلى الجريمة للحصول على وصفات غير شرعية من أجل تخفيف ألمهم غير المُحتمَل؛ بل يصل الأمر بقلّة منهم إلى الانتحار لإنهاء معاناتهم الهائلة. وبيَّنت الأبحاث التي تدور حول تقاطع تفريج الألم مع عمل الخلايا الدبقية ومع الإدمان على المخدرات ظهورَ دليلٍ حديثٍ على أنّ الخلايا الدبقية مسؤولةٌ عن توليد ظاهرة التحمّل الدوائي في حالة الهيروين والمورفين.

وقد بدأت الشكوك حول تورّط الخلايا الدبقية في ظاهرة تحمّل المخدِّرات بالظهور لأول مرة، عندما لوحظ أنّ المرضى المعتمدين على مسكِّنات الألم من النوع المخدِّر يعانون - تماما مثلما يحدث

(*) Restoring Balance

عندما ينقطع شخص مدمن على الهيروين عن تعاطيه بشكل فوري غير تدريجي cold turkey - الأعراض المؤلمة لمتلازمة **الامتناع (السحب)** withdrawal المعهودة، إذا توقفوا فجأة عن تلقي أدويتهم. فأولئك المرضى (وكذلك المدمنون على الهيروين) يصيرون مفرطي الحساسية إلى درجة كبيرة، بحيث إنه حتى الضوء أو الصوت العادي يصيران بالنسبة إلى أولئك المرضى مؤلمين وموجِعَين للغاية. والتشابه بين هذه الأعراض و**فرط الحس** hyperesthesia الذي يلاحظ في ألم الاعتلال العصبي، أوحى باحتمال وجود سبب مشترك لكلتا الحالتين.

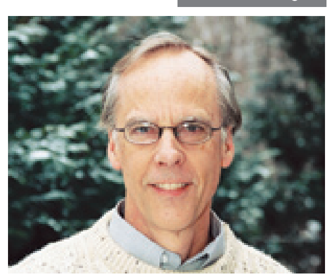
في عام 2001 اختبر <P. سونگ> و<Q. Z. تزهاو> [من معهد شانگهاي للفيزيولوجيا] ما إذا كانت الخلايا الدبقية تتدخل في تطور تحمّل المورفين. وقد لاحظ الباحثان أنه عند إعطاء الجرذان جرعات متكررة من المورفين، فإنّ عدد الخلايا النجمية الارتكاسية في النخاع الشوكي يزداد. وكانت تبدّلات الخلايا الدبقية الناجمة عن حقن المورفين المتكرر مماثلة للتبدلات الملحوظة في النخاع الشوكي بعد الإصابة بالأذية أو لدى تطوّر ألم الاعتلال العصبي. وبعد ذلك، قام العالمان بالتخلص من الخلايا النجمية باستخدام السمّ نفسه الذي استعمله <ميلر> لإخماد تطوّر الألم المزمن عند الجرذان. فكانت النتيجة أنّ تحمّل المورفين في تلك الحيوانات نقص بسرعة ووضوح، وهذا ما يشير إلى إسهام الخلايا الدبقية بطريقة أو بأخرى في حدوثه.

ومنذ ذلك الحين، حاولت مجموعات عديدة من الباحثين أن تحصر إشارات متنوّعة بين النورونات والخلايا الدبقية (على سبيل المثال عن طريق تعطيل مستقبلات نوعية للسيتوكينات على الخلايا الدبقية)، وأن تختبر ما إذا كان تحمّل المورفين يتأثر بذلك. وأظهرت هذه الأبحاث أنّ إحصار إشارات الالتهاب الآتية إلى الخلايا الدبقية أو المنطلقة منها لا يغيّر على الإطلاق أيّ شيء في الإحساس الطبيعي بالألم الحادّ، ولكن عندما حُقنت الحاصرات سويةً مع المورفين، فإنّ جرعات أقلّ من المورفين تمّ الاحتياج إليها للحصول على تفريج الألم نفسه وكذلك كانت مدة هذا التفريج مضاعفة. ودلّت هذه الاكتشافات بقوة على أنّ الخلايا الدبقية تمارس فعلا معاكسا لتأثير المورفين المزيل للألم.

إنّ أعمال الخلايا الدبقية المقوِّضة لفعالية المورفين تتوافق مع الوظيفة الأساسية لهذه الخلايا في المحافظة على النشاط المتوازن في الدارات العصبية. فعندما تخفِّف المخدِّرات حساسية دارات الألم، تستجيب الخلايا الدبقية لذلك بإطلاق موادّ فعّالة عصبيا تزيد قابلية استثارة النورونات، كي تعيد المستويات الطبيعية للفعالية في الدارات العصبية. ومع مرور الوقت يؤدي تأثير الخلايا الدبقية إلى رفع درجة الحساسية في نورونات الألم، وعندما يزول التأثير المخفِّف الذي يطبّقه فجأة على دارات الألم الهيروين أو الأدوية الأخرى المخدِّرة للألم، في حال التوقف السريع عن تلقي الدواء، فإنّ النورونات تطلق دفعاتها بشكل مكثّف، وهذا ما يسبِّب أعراض الحساسية الفائقة والأعراض المؤلمة لمتلازمة السحب. وفي التجارب على الحيوانات تمكّن الباحثون من إنقاص مثير للألم الناجم عن السحب في حالة الإدمان على المورفين وذلك بواسطة الأدوية الحاصرة لاستجابات الخلايا الدبقية.

وهكذا، فإن إثبات أنّ تعديل فعالية الخلايا الدبقية هو مفتاح رئيسي ليس في تسكين الألم المزمن فحسب، بل أيضا في تقليل احتمال تحوّل الأشخاص المعالجين بالمخدِّرات المسكِّنة للألم إلى مدمنين عليها. فما أعظم الهبة التي سوف تمنحها الأدوية التي تستهدف الخلايا الدبقية إلى أولئك الذين سعوا منذ فترة طويلة إلى السيطرة على هذين المصدرين الكبيرين (الآلام المزمنة وإدمان المخدرات) للبؤس والتعاسة لدى البشر. ففي الماضي، فاتت العلماء ملاحظة الصلات بين النورونات والألم والإدمان وذلك بسبب تجاهلهم الشريك الأساسي للنورونات، ألا وهو الخلايا الدبقية. ■

المؤلف



R. Douglas Fields

رئيس تحرير مجلة بيولوجيا الخلايا النورونية والخلايا الدبقية Neuron Glia Biology*، وقد كتب مقالات عدة في مواضيع العلوم العصبية لمجلة* ساينتفيك أمريكان*، كان آخرها في الشهر 2008/3 عن دور المادة البيضاء في الدماغ. وفي كتابه المُزمَع صدوره قريبا* «الدماغ الآخر» The Other Brain *(الناشر Simon & Schuster) نجد وصفا لآراء بصيرة جديدة عن كيفية قيام الخلايا الدبقية بتنظيم وظائف الدماغ في حالتي الصحة والمرض.*

مراجع للاستزادة

Could Chronic Pain and Spread of Pain Sensation Be Induced and Maintained by Glial Activation? Elisabeth Hansson in *Acta Physiologica*, Vol. 187, No. 1–2, pages 321–327; published online May 22, 2006.

Do Glial Cells Control Pain? Marc R. Suter et al. in *Neuron Glia Biology*, Vol. 3, No. 3, pages 255–268; August 2007.

Proinflammatory Cytokines Oppose Opioid-Induced Acute and Chronic Analgesia. Mark R. Hutchinson et al. in *Brain, Behavior, and Immunity*, Vol. 22, No. 8, pages 1178–1189; published online July 2, 2008.

Pathological and Protective Roles of Glia in Chronic Pain. Erin D. Milligan and Linda R. Watkins in *Nature Reviews Neuroscience*, Vol. 10, pages 23–36; January 2009.

Scientific American, November 2009

Majallat AlOloom

المجلد 26 العددان 4/3
مارس/ إبريل 2010

مجلة العلوم

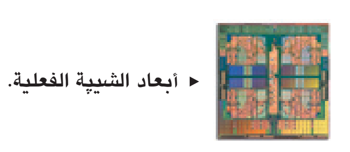


الشيپات الميكروية خلال العشرين سنة القادمة(*)

يبذل المصمِّمون قصارى جهودهم لجعل الدارات المتكاملة أصغر وأسرع وأرخص.

محرِّرو ساينتفيك أمريكان

▸ تحوي كل شيبة معالج من الطراز Phenom X4 (*الصفيفة في اليسار*)، التي تصنعها الشركة AMD، 758 مليون ترانزستور.



▸ أبعاد الشيبة الفعلية.

في عام 1975، أعلن رائد الإلكترونيات ‹G. مور› تنبُّؤه الشهير بأن تعقيد شيبات الدارات المتكاملة سوف يتضاعف كل سنتين، وأن تطورات التصنيع سوف تمكِّن من جعل ترانزستورات الشيبة أصغر فأصغر، بحيث إن الإشارات الكهربائية سوف تعبُر مسافات أقصر لمعالجة المعلومات. وقد عنى ‹مور› بما أصبح يُعرف **بقانون مور**[1] أن التجهيزات الحاسوبية سوف تُصبح أصغر وأسرع وأرخص. وبفضل الابتكارات المتواصلة في تصميم أشباه الموصلات وتصنيعها، اتبعت الشيبات، على نحو مدهش، مسارا قريبا مما توقعه ‹مور› قبل 35 عاما.

إلا أن المهندسين عرفوا أنهم سوف يصطدمون بالحائط يوما ما. فسماكة الترانزستورات سوف تصبح مساوية لحجم بضع عشرات من الذرات فقط، وسوف تفرض قوانين الفيزياء الأساسية في سلّم المقاسات ذاك قيودا على التصغير. وحتى قبل الاصطدام بالحائط، ثمة مشكلتان مرشحتان للظهور. فوضع ترانزستورات بالغة الصغر، على مسافات من بعضها بالغة القصر، مع الاستمرار بتحقيق إنتاجية عالية (أي نسبة شيبات سليمة إلى شيبات مرفوضة) يمكن أن يُصبح باهظ التكاليف. والمشكلة الأخرى، هي أن الحرارة المتولدة من غابة الترانزستورات الكثيفة تلك يمكن أن ترتفع حتى تبدأ بطبخ العناصر نفسها.

وفعلا ظهرت هاتان العقبتان قبل سنوات عدة. فالسبب الرئيسي لاحتواء الحواسيب الشخصية الشائعة اليوم على شيبات «**ثنائية النوى**»[2]، أي على معالجيْن صغيريْن بدلا من معالج واحد، والتي تسوَّق بضجيج ترويجي كبير، هو أن وضع العدد المطلوب من الترانزستورات على شيبة واحدة وتبريدها قد أصبح صعبا للغاية. لذا، قرَّر مصمِّمو الحاسوب وضع شيبتين أو أكثر معا جنبا إلى جنب وبرمجتهما لتعملا بالتوازي على معالجة المعلومات.

ويبدو أنه في نهاية المطاف لن يبقى ثمة متسع في قانون مور. فكيف سيتابع المهندسون جعل الشيبات أكثر مقدرة؟ ثمة خياران لفعل ذلك، هما الانتقال إلى بِنى حاسوبية بديلة، واستمثال المواد النانوية التي يمكن تجميعها ذرة تلو أخرى. وثمة خيار آخر هو استمثال طرائق جديدة لمعالجة المعلومات، من قبيل **الحوسبة الكمومية والبيولوجية**[3]. وفي الصفحات التالية، سوف نلقي نظرة على طيف من التطورات التي مازال كثير منها في مرحلة النموذج المختبري، والتي يمكن أن تُبقي، خلال العقدين التاليين، المنتجات الحاسوبية على المسار «الأصغر والأسرع والأرخص» الذي خدمنا جيدا حتى الآن.

مفاهيم مفتاحية

- قد يصبح من المستحيل قريبا تحقيق مزيد من التصغير في ترانزستورات شيبات الدارات المتكاملة. لذا، ثمة حاجة إلى مواد وتصاميم بديلة كي يستمر أداء الشيبات بالتحسُّن.
- يمكن للأسلاك النانوية والگرافين والجسيمات الكمومية والجزيئات الحيوية جميعا أن تفرِّخ أجيالا جديدة من الشيبات أقوى بكثير من أفضل شيبات اليوم.

محررو ساينتفيك أمريكان

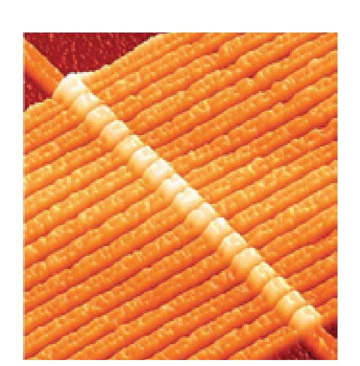
(*) THE NEXT 20 YEARS OF MICROCHIPS
(1) Moore's Law
(2) dual-core
(3) quantum and biological computing

الحجم : عبور الحاجز(*)

يبلــغ عرض أصغر الترانزســتورات التي تُصنــع اليوم 32 نانومترا فقط، أي عرض نحو 96 ذرة سليكون مصطفة جنبا إلى جنب. ولكن صناعة أشــباه الموصلات (أنصاف النواقل) تُقــرُّ بأنه قد يكــون من الصعــب جدا صنع ترانزستورات أصغر من 22 نانومترا باستخدام **تقنيــات الطبــاعــة الضــوئيــة**[1] الحالية التي تطوَّرت على مدى عقود من السنوات.

إلا أن أحد الخيارات التي تسمح لأشكال الــدارات أن تأخذ الحجم نفســه مع تحقيق طاقة حاسوبية أكبر، هو ما يُعرف **بتصميم القضبــان المتصــالبــة**[2]. فعوضا عن صنع الترانزســتورات جميعــا في مســتوٍ واحد (كالســيارات المصطفــة في مســالكَ طريق ســريع شــديد الازدحام)، تتضمــن طريقة القضبــان المتصالبة مجموعة من الأســلاك النانويــة المتوازيــة الموجــودة في مســتوٍ أول، ومجموعــة أخرى متعامــدة معها في مســتوٍ آخر تحت المســتوى الأول (طريقين ســريعَين متعامدين). وتوضع طبقة فاصلة بين المجموعتين ســماكتها تســاوي سماكة جــزيء واحد. وتعمــل التقاطعــات الكثيرة الموجودة بين مجموعتي الأســلاك كمفاتيح وصل وفصل تســمى **المقاومــات المتغيرة بالشــحنة**[3]، وتمثِّل هذه المقاومات الوحدان والأصفار (الأرقــام الثنائية أو البتات) على غرار ما تفعله الترانزســتورات. وتســتطيع هــذه المقاومــات خــزن المعلومــات أيضا. ويمكن لهذه الإمكانات مجتمعة أداء عدد من مهام الحوسبة، وتســتطيع المقاومة المتغيرة بالشــحنة القيام بعمل 10 أو 15 ترانزستورا من حيث المبدأ.

صَنعت مختبرات هولِتْ پاكَّرد Hewlett – Packard نموذجــا مختبريــا مــن القضبان المتصالبــة المكوَّنة مــن أســلاك التيتانيوم والپلاتين التــي يبلغ قطر الواحــد منها 30 نانومترا، وذلك باســتخدام مواد وسيرورات تصنيع مشابهة لتلك ســبق أن **استُمثلت**[4] عمليا لصناعة أشــباه الموصــلات. ويعتقد باحثو الشــركة أنــه يمكن تصغيــر أقطار الأســلاك لتســاوي 8 نانومترات فقط. وثمة مجموعــات بحــث تصنع أيضــا تجهيزات قضبان متصالبة من الســليكون والتيتانيوم وكبريتيد الفضة.



تُعتبر المقاومة المتغيرة بالشحنة التي صنعتها الشركة هولِت پاكَّرد نوعا جديدا من عناصر الدارات التي تكوَّنت عند كل تقاطع ناتئ للأسلاك النانوية المتراكبة.

تبديد الحرارة : بالبراد (بالثلاجة) أم بالهواء(**)

بوجود ما يقارب البليون ترانزستور على الشــيبة، يمثِّل التخلص من الحرارة الناجمة عن فصل ووصل الترانزســتورات مشــكلة رئيســية. وفي الحواسيب الشخصية الحالية ثمة حيز لوضع مروحة، ومع ذلك، فإن أقصى ما تســتطيع تلك المــراوح تبديــده لا يزيد على نحــو 100 واط للشــيبة الواحــدة. لذا، يعمــل المصمِّمون على ابتــكار بدائل جديدة، ومــن أمثلتهــا علبــة صقيلــة مصنوعة من الألمنيوم الناقل حراريــا تعمل كمبدد حراري في الحاســوب المحمول MacBook Air. وفي الحاسوب الشخصي Apple Power Mac G5، يُمرَّر ســائل عبر قنوات ميكروية محفورة في الجانب الأسفل من شيبة المعالج لتبريدها.

إلا أن مزج السوائل بالإلكترونيات ينطوي على مجازفــة، إضافة إلــى أن التجهيزات الصغيرة من قبيل أجهــزة الهاتف الخلوية الذكيــة لا تتســع للأنابيب والمــراوح. لذا، وضعت مجموعة بحث، تقودها شركة إنتل، شبكة فائقة مكوَّنة من غشاء رقيق من **تلِّريد**

(*) Size : Crossing the Bar؛ استخدام تقانة القضبان المتصالبة، وقد اقتبِســوا العبارة من آخر قصيــدة كتبها الشــاعر <A. L. تنســون> في عام 1889 الذي يُعتقد أنه قد قصد بها اختراق حاجز الرمل بين شاطئ الحياة ومحيط الموت.

(**) Heat : Refrigerators or Wind

(١) lithography techniques

(٢) crossbar design

(٣) memristor : نوع من المقاومة التي تتغير لدى مرور شحنة كهربائية فيها.

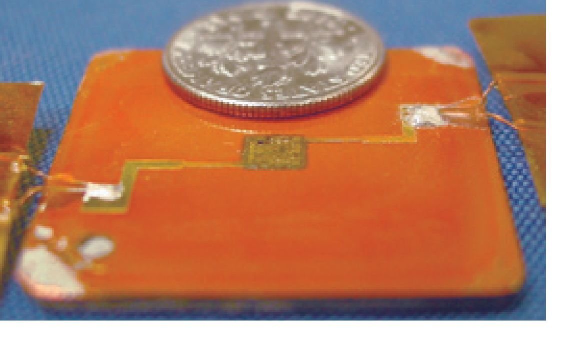
(٤) optimized

(التحرير)

البيسموث bismuth telluride في العلبة التي تغلف الشيپة (في اليسار). وتحوِّل هذه المادة الكهرحرارية التدرُّج الحراري إلى كهرباء، مبرِّدة بذلك الشيپة نفسها.

وبناء على عمل أُجري في جامعة پوردو، تصنع الشركة الجديدة Ventiva «مروحة» ضئيلة من أشباه الموصلات لا تحوي أجزاء متحركة، بل تولِّد نسمة هواء باستغلال مفعول ريح الهالة(1)، وهي الخاصية نفسها المستخدمة في مكيفات الهواء المنزلية الصامتة. ويحتوي حاجز شبكي قليل التقعُّر على أسلاك حية(2) تولِّد پلازما ميكروية المقاس. وتدفع شوارد هذه الپلازما الشبيهة بالغاز جزيئات الهواء من الأسلاك إلى صفيحة مجاورة مولدة ريحا أقوى من تلك التي تولدها مروحة ميكانيكية عادية، مع أنها أصغر منها كثيرا.

وثمة مبتكرون آخرون يصنعون مراوح ذات محركات **سترلينگ**(3)، ولكن هذه المراوح ما زالت كبيرة الحجم إلى حد ما، وهي تولِّد ريحا دون أن تستهلك طاقة كهربائية؛ لأنها تستمد طاقتها من الفرق الحراري بين المناطق الباردة والساخنة في الشيپة.



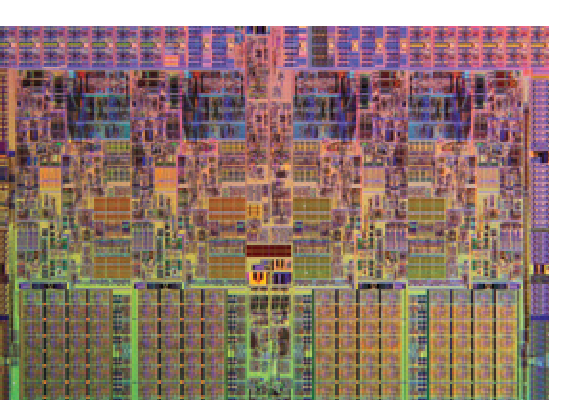
يمكن لقطعة تبريد (*اللون الذهبي في المركز*) مصنوعة من تلُّريد البيسموث أن تنقل الحرارة بعيدا عن شيپة أكبر منها كثيرا مثبتة فوقها إلى طبقة تبديد رقيقة (*البرتقالي*). تحتل القطعة والطبقة حيزا وطاقة أقل مما تستخدمه مبددات الحرارة الحالية.

بنيان: متعدد النوى(*)

كلما كانت الترانزستورات أصغر، استطاعت الفصل والوصل لتمثيل الأصفار والوحدان على نحو أسرع، وهذا ما يجعل الشيپات أسرع. ولكن تردد الساعة، أي عدد التعليمات التي تستطيع الشيپة تنفيذها في الثانية، وصل إلى سقفه، أي إلى نحو 3-4 ميگاهرتس، مع بلوغ الشيپات سقف السخونة المسموح بها. لذا، دفعت الرغبة في أداء أسرع، ضمن قيْدَي الحرارة وتردد الساعة المذكورين، بالمصمِّمين إلى وضع معالجيْن، أو نواتيْن، على الشيپة نفسها. وعملت كل نواة بنفس سرعة الشيپة السابقة، لكن نظرا إلى أن النواتين تعملان معا بالتوازي، فمن الممكن أن تعالجا بيانات أكثر مما تعالجه شيپة واحدة في المدة نفسها، وتستهلكا طاقة أقل، ولذا تولِّدان حرارة أقل. إن أحدث الحواسيب الشخصية يحوي الآن أربع نوى من قبيل المعالجين Intel i7 أو AMD Phenom X4.

تحوي أقوى الحواسيب الفائقة في العالم آلاف النوى، أما في المنتجات الاستهلاكية، فإن استخدام حتى بضع نوى استخداما فعَّالا يتطلَّب تقنيات برمجة جديدة قادرة على تجزئة البيانات وتوزيع المعالجة والتنسيق فيما بين النوى. لقد وُضعت أسس البرمجة المتوازية للحواسيب الفائقة في ثمانينات وتسعينات القرن العشرين، لكن التحدي الآن هو إيجاد لغات وأدوات يمكن لمطوِّري البرمجيات استخدامها في التطبيقات الاستهلاكية. لقد أطلقت شركة أبحاث مايكروسوفت، على سبيل المثال، لغة البرمجة F#. وقد أوحت لغة برمجة أقدم، Erlang، طوَّرتها الشركة السويدية إريكسون، لغات أحدث من قبيل كلوجور Clojure وسكالا Scala. وتسعى هيئات من قبيل جامعة إلِينوي أيضا إلى تطوير لغة برمجة متوازية للشيپات المتعددة النوى.

إذا أمكن استمثال هذه الطرائق، أمكن لحواسيب المكتب والتجهيزات المحمولة أن تحوي عشرات المعالجات المتوازية التي يمكن أن يتكوَّن كل منها من عدد من الترانزستورات أقل مما تحويه الشيپات الحالية، لكنها تعمل بسرعة أكبر بوصفها مجموعة متكاملة.



يتكوَّن المعالج Intel i7 من أربع نوى cores (*في أسفل الشكل*) تعمل معا بالتوازي لتسريع الحوسبة computation.



(*) Architecture : Multiple Cores

(1) corona wind effect : ريح الهالة هي تيار شوارد يولِّده حقل كهربائي شديد.

(2) live wire : السلك الحي هو السلك الحامل للتيار الكهربائي المتناوب، وتمثل الأرض حينئذ الخط الراجع الذي تكتمل الدارة به. وفي اللغة الدارجة، هذين الخطين يطلق على الحامي والبارد.

(3) Stirling engine : آلة تحوِّل الطاقة الحرارية إلى ميكانيكية بضغط وتمديد كمية محددة من الهواء أو الغاز على نحو متناوب. (التحرير)

مواد دقيقة : أنابيب نانوية وتجميع ذاتي(*)

طوال عقد من السنين، دعا مختصُّون، إلى التوجُّه نحو التقانة النانوية بوصفها حلا لجميع أنواع المشاكل في الطب والطاقة، وفي الدارات المتكاملة أيضا. ويجادل بعض المتحمسين لتلك التقانة في أن صناعة أشباه الموصلات، التي تصنع الشيپات، هي التي أوْجدَت تخصُّص التقانة النانوية بابتكارها للترانزستورات المضطردة التضاؤل.

إلا أن التوقُّع الأكبر هو أن التقنيات النانوية قد تمكِّن المهندسين من تصميم جزيئات حسب الطلب. فالترانزستورات المجمَّعة من أنابيب كربون نانوية، على سبيل المثال، يمكن أن تكون صغيرة جدا. لقد صنع المهندسون لدى الشركة IBM فعلا دارة سيموس عادية باستخدام ركيزة ناقلة من أنابيب الكربون النانوية بدلا من ركيزة السليكون (في اليمين). ويقوم <J. أپِّنزلر> [عضو فريق IBM والموجود حاليا في جامعة پوردو] بابتكار ترانزستورات جديدة أصغر كثيرا من ترانزستورات **السيموس**(٢) المذكورة، ويمكن أن تستغل ركيزة الأنابيب النانوية الضئيلة على نحو أفضل.

إن ترتيب الجزيئات والذرات أيضا، قد يكون عويصا، خاصة بوجود الحاجة إلى تجميعها بكميات كبيرة أثناء إنتاج الشيپات. ولكن أحد حلول هذه المشكلة يكمن في الجزيئات التي تتجمَّع ذاتيا: اخلطْها معا، ثم عرِّضْها للحرارة أو للضوء، لقوى طرد مركزية، فتُرتِّب نفسها في أنماط يمكن تحديدها سلفا.

لقد استعرضت الشركة IBM طريقة لصنع دارات ذاكرة باستخدام پوليمرات مترابطة كيميائيا. حين تدويم الجزيئات على سطح ركيزة سليكونية وتسخينها، تمتط وتشكِّل بنية كبنية خلية نحل لا تزيد أقطار مساماتها على 20 نانومترا. بعدئذ، يمكن حفر شكل الدارة في السليكون لتكوين شيپة ذاكرة بذاك الحجم.

دارة سيموس عادية

قاعدة الشيپة

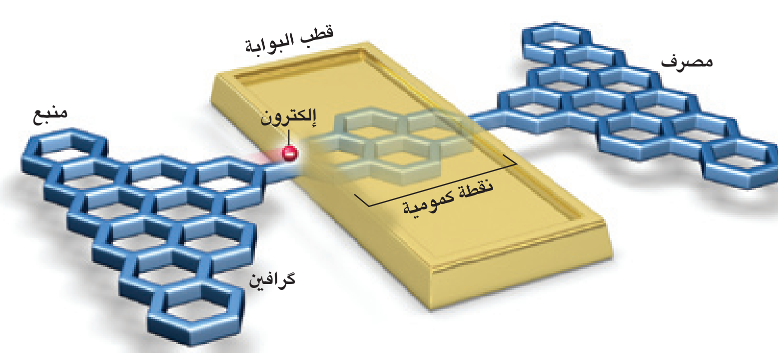
ركيزة أنبوب نانوي

دارة مهتز حلقي(١) مبنية على أنبوب نانوي واحد يصل فيما بين عناصر الدارة.

ترانزستورات أسرع : الگرافين الفائق الرقة(**)

تهدف فكرة التقليص المضطرد لأحجام الترانزستورات إلى تقصير المسافات التي يجب أن تقطعها الإشارات الكهربائية ضمن الشيپة بغية تسريع معالجة المعلومات. وثمة مادة نانوية معينة، هي الگرافين، يمكن أن تعمل بسرعة كبرى بسبب طبيعة بنيتها.

يتكوَّن معظم الشيپات المنطقية التي تعالج المعلومات من ترانزستورات **المفعول الحقلي**(٤) المصنوعة بتقانة السيموس. تخيَّل هذا الترانزستور على شكل قطعة بسكويت مكونة من طبقة مستطيلة ضيقة، مع طبقة من



ترانزستور من الگرافين صُنع في جامعة مانشستر بإنكلترا تساوي سماكته قطر ذرة واحدة. تسمح نقطة كمومية(٣) لإلكترون واحد فقط بالانتقال من المنبع إلى المصرَف، مسجلة تغيرا من 1 إلى 0.

(*) Slimmer Materials: Nanotubes and Self-Assembly

(**) Faster Transistors: Ultrathin Graphene

(١) ring oscillator : المهتز الحلقي هو سلسلة مغلقة مكونة من عدد فردي من بوابات النفي المنطقي NOT. ونتيجة لهذه التشكيلة، تهتز مخارج البوابات بين قيمتين للجهد (للڤولطية) الكهربائي تمثلان الصفر والواحد، ويتحدد دور الاهتزاز بمجموع التأخيرات الزمنية التي تسببها البوابات بين دخلها وخرجها.

(٢) complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) : نصف ناقل من متمم أكسيد المعدن.

(٣) quantum dot : النقطة الكمومية هي نصف ناقل أزواج إلكتروناته، وثقوبه المترابطة محتواة ضمن جميع الأبعاد المكانية الثلاثة.

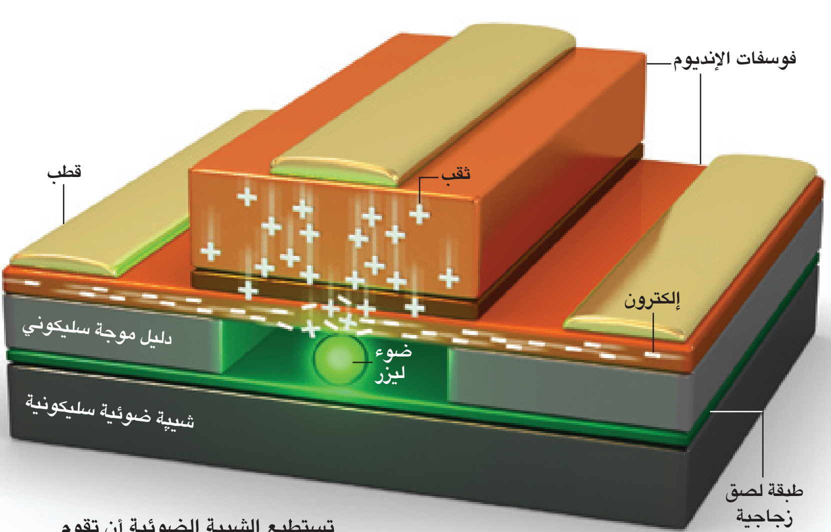
(٤) field-effect transistor : هو ترانزستور يمر معظم تياره عبر قناة يمكن التحكم في مقاومتها بواسطة حقل كهربائي مستعرض متغير. (التحرير)

الألمنيوم (أو مؤخرا من البولي سليكون) فوقها، وطبقة أكسيد عازل في الوسط، وطبقة سليكون شبه موصلة في الأسفل. إن الگرافين، الذي يحل محل طبقة الأكسيد، هو شكل جديد من جزيئات الكربون، وهو صفيحة مستوية ذات أشكال سداسية متكررة تشابه أشكال شبكة أسلاك خم الدجاج، ولكن سماكتها تساوي طبقة ذرية واحدة فقط. وبتكديس صفائح الگرافين بعضها فوق بعض، يتكوَّن الگرافيت المعدني المعروف لدينا بـ «رصاص» قلم الرصاص. يَنقُل الگرافين، بصيغته البلورية النقية، الإلكترونات بسرعة تفوق تلك التي تنقلها بها أي مادة أخرى عند درجة حرارة الغرفة، ومنها ترانزستورات المفعول الحقلي. ولا تفقد حوامل الشحنات فيه إلا مقدارا ضئيلا جدا من الطاقة نتيجة التبعثر والتصادم بذرات الشبكة، ولذا تكون الحرارة المهدورة المتولِّدة فيه أقل. لقد عزل العلماء الگرافين بوصفه مادة مستقلة في عام 2004، أي إن العمل به ما زال في بداياته، ولكن الباحثين متيقنون من أنهم سوف يتمكَّنون من صنع ترانزستورات گرافين عرضها يساوي 10 نانومترات فقط، وارتفاعها يساوي ارتفاع ذرة واحدة. وقد يكون من الممكن حفر العديد من الدارات في صفيحة گرافين ضئيلة واحدة.

حوسبة ضوئية : بسرعة الضوء(*)

ما زالت بدائل شيپات السليكون، المختلفة عنها كليا، بدائية إلى درجة أن ظهورها بشكل تجاري يحتاج إلى عقد من السنين. ولكن قانون مور ربما يكون قد استنفد أغراضه حينئذ، لذا فإن العمل جار على قدم وساق لتطوير طرائق حوسبة مختلفة كليا.

في الحوسبة الضوئية، لا تُحمل المعلومات على الإلكترونات، بل على الفوتونات التي تنقلها بسرعة أكبر كثيرا، أي بسرعة الضوء. لكن التحكُّم في الضوء أصعب كثيرا من التحكم في الإلكترونات. ومع ذلك، فقد ساعد التقدُّم الحاصل في صنع البدالات الضوئية، التي توضع مع كِبال الألياف الضوئية في خطوط الاتصالات، على الحوسبة الضوئية أيضا. وأغرب من ذلك هو أن أحد أكثر التطورات تقدُّما في هذا المجال يهدف إلى إيجاد وصلات ضوئية بين المعالجات ضمن الشيپة المتعددة النوى. فثمة مقادير هائلة من البيانات التي يجب أن تُنقَل، إيابا وذهابا، بين النوى التي تعالج المعلومات بالتوازي، وقد تشكِّل الأسلاك الإلكترونية الواصلة بينها عنق زجاجة. أما الوصلات الضوئية، فيمكن أن تحسِّن تدفق المعلومات بين المعالجات، والباحثون في مختبرات شركة هولت پاكَرد يقيِّمون تصاميم يمكن أن تزيد كمية المعلومات المنقولة مئات المرات.



تستطيع الشيپة الضوئية أن تقوم بحوسبة سريعة إذا كانت تحوي منبعا ضوئيا داخليا قابلا للتحكم فيه. تعود الإلكترونات والثقوب في طبقة فوسفات الإنديوم إلى الاتحاد ثانية في المركز لتوليد ضوء ينتشر على طول دليل موجة سليكوني وعبر طبقة زجاجية.

وتعمل مجموعات أخرى على وصلات ضوئية يمكن أن تحل محل الأسلاك النحاسية البطيئة التي تصل اليوم بين شيپة المعالج والمكوِّنات الأخرى ضمن الحواسيب، من قبيل شيپات الذاكرة وسواقات أقراص الڤيديو الرقمية. لقد بنى المهندسون لدى شركة إنتل وجامعة كاليفورنيا في سانتا باربرا «أنابيب بيانات» ضوئية من فوسفات الإنديوم والسليكون باستخدام سيرورات تصنيع أشباه الموصلات الشائعة (*في الأعلى*). إلا أن شيپات الحوسبة الضوئية الصرفة تحتاج إلى بعض الابتكارات العلمية والتقانية الجوهرية لتحقيقها.

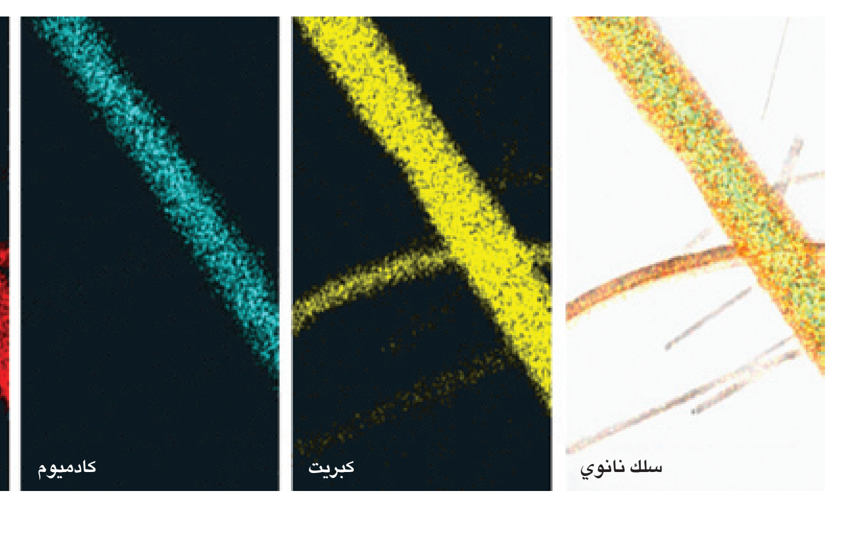
(*) Optical Computing : Quick as Light

الحوسبة الجزيئية : والمنطق العضوي(*)

في الحوسبة الجزيئية، تُحمَل الوحدان والأصفار على الجزيئات، بدلا من الترانزستورات. وعندما يكون الجزيء حيويا، من قبيل **الدنا** DNA، يسمى نوع الحوسبة هذا بالحوسبة البيولوجية [*انظر المؤطر المعنون «الحوسبة البيولوجية» في الصفحة المقابلة*]. للإيضاح، قد يسمي المهندسون حوسبة الجزيئات اللاحيوية بالمنطق الجزيئي أو **الإلكترونيات الجزيئية**(1).

يمتلك الترانزستور العادي ثلاثة أطراف (كالحرف Y): **المنبع، والبوابة، والمصرَف**(2). ويجعل تطبيق جهد كهربائي على البوابة (أي على جذع الـ Y) الإلكترونات تتدفق بين المنبع والمصرف، وهذا يحقِّق الـ 1 أو الـ 0. على غرار ذلك، تستطيع جزيئات لها أشكال متشعبة أن تجعل إشارة كهربائية تنساب بالطريقة نفسها نظريا. وقد صنع باحثون، لدى جامعتي يال ورايس قبل 10 سنوات، مفاتيح جزيئية باستخدام **البنزن**(3) كلبنة بناء.

يمكن للجزيئات أن تكون ضئيلة، لذا يمكن للدارات المبنية منها أن تكون أصغر كثيرا من تلك المبنية من السليكون. إلا أن إحدى الصعوبات هي إيجاد طرائق لصنع دارات معقدة. لذا، يأمل الباحثون بأن يكون التجميع الذاتي هو الحل. وفي الشهر 2009/10، حوَّل فريق في جامعة پنسلڤانيا الزنك وكبريتيد الكادميوم المتبلور إلى دارات شبكية فائقة من المعدن ونصف الناقل باستخدام تفاعلات كيميائية فقط حفَّزت التجميع الذاتي (*أدناه*).

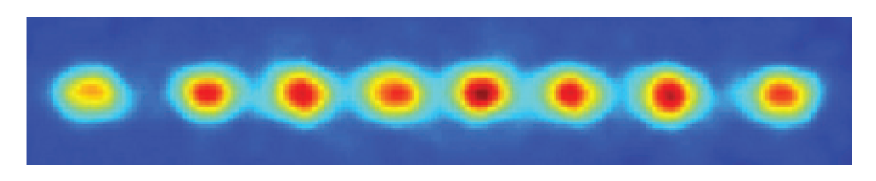


أسلاك نانوية رفيعة من الزنك والكادميوم والكبريت تتجمَّع ذاتيا في أسلاك نانوية وقوقعة أسمك (*أقصى اليمين*) ملائمة لتكوين دارة حين تعريضها لنبضة بخار زنك الديميثيل مدتها نصف ثانية.

الحوسبة الكمومية : تراكب الوحدان والأصفار(**)

تُعدُّ عناصر الدارات المكوَّنة من ذرات أو إلكترونات، أو حتى من فوتونات، أصغر المكوِّنات الممكنة. في سلم المقاسات هذا، يحكُم الميكانيكُ الكمومي التآثراتِ بين العناصر، أي القوانين التي تفسر السلوك الذري. يمكن للحواسيب الكمومية أن تكون كثيفة وسريعة إلى درجة يصعب تصورها، إلا أن تصنيعها عمليا والتحكُّم في التآثراتِ الكمومية التي تحصل فيها يمثلان تحديين مثبطين للهمم.

تتصف الذرات والإلكترونات بسِمات مميِّزة يمكن أن توجد في حالات مختلفة، وأن تكوِّن بتة كمومية، أو ما يسمى **كيوبتة** qubit. ثمة استقصاءات في مناحٍ عدة لتداول الكيوبتات، وإحداها ما يُسمى **بالإلكترونيات السپينية**(4)، حيث تُدوِّم



سلسلة سابحة من شوارد الكالسيوم في حجرة مخلاة تستطيع القيام بحسابات كمومية.

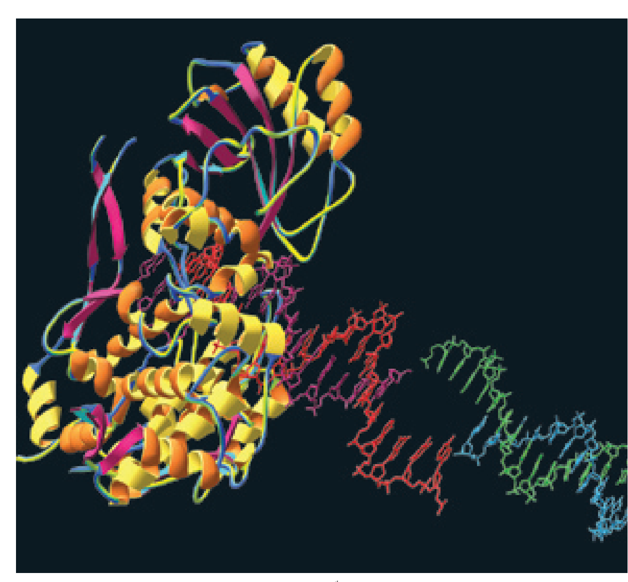
(*) Molecular Computing : organic Logic
(**) Quantum Computing : Superposition of 0 and 1
(1) molectronics
(2) source, gate and drain
(3) benzene : المركب C_6H_6، لا البنزين المستخدم وقودا للسيارات.
(4) spintronics : الإلكترونيات السپينية تقانة بازغة لحمل المعلومات تستغل بعض خواص الإلكترون من قبيل الشحنة **والسپين (التدويم)** spin والعزم المغنطيسي. (التحرير)

عزوم الإلكترونات المغنطيسية في واحد من اتجاهين. تخيَّل كرة تدوِّم في اتجاه ما (ممثلة 1 أو 0). خلافا للكرة، يمكن للإلكترون أن يُدوِّم بالاتجاهين في الوقت نفسه، مولِّدا حالة كمومية فريدة تُعرف بتراكب الـ 1 والـ 0. وباستخدام حالات التراكب، يمكن لسلسلة من الإلكترونات أن تمثل مقادير من المعلومات تفوق، بتزايد أسي، ما تمثله سلسلة من الترانزستورات السليكونية التي تمتلك حالات البتة العادية فقط. لقد صنع علماء في جامعة كاليفورنيا بسانتا باربرا عددا من البوابات المنطقية المختلفة باحتجاز إلكترونات ضمن حجرات حُفرت في الألماس.

وفي طريقة أخرى استخدمتها جامعة ماريلاند والهيئة القومية الأمريكية للمقاييس والتقانة (NIST)[1]، عُلِّقت سلسلة من الشوارد بين صفيحتين مشحونتين، حيث يقوم ليزر بقلب الاتجاه المغنطيسي لكل شاردة (أي كيوبتتها). والخيار الآخر هو كشف أنواع الفوتونات المختلفة التي تصدرها الشاردة اعتمادا على الاتجاه التي هي فيه.

إضافة إلى إمكان تراكب الحالات الكمومية، يمكن لتلك الحالات أن تتشابك أيضا، حيث تترابط حالات المعلومات عبر كثير من الكيوبتات، معطية أداة قوية لمعالجة المعلومات ولنقلها من مكان إلى آخر.

الحوسبة البيولوجية : الشيپات الحية(*)



يمكن أن تحصل الحوسبة حينما يقدِّم جزيء دنا (*الأخضر في اليمين*) بيانات إلى جزيئات دنا برمجية (الأحمر في المركز) يستطيع إنزيم فوكل FokI (*الشريط الملون*) معالجتها.

في الحوسبة البيولوجية يُستعاض عن الترانزستورات ببنى توجد عادة في المتعضيات الحية. وأهم تلك البنى هما جزيئا الدنا و**الرنا** RNA اللذان يخزنان فعلا «البرنامج» الذي يوجِّه حياة خلايانا. المدهش هو أن الشيپة التي هي بحجم ظفر الإصبع، والتي يمكن أن تحوي بليون ترانزستور، يمكن أن تحوي ترليونات من شرائط الدنا. ويمكن لشرائط الدنا أن تعالج أجزاء مختلفة، من عملية حوسبة واحدة، في الوقت نفسه، وأن تجتمع معا لتعطي الحل. إن الشيپة الحيوية، باحتوائها على عناصر يفوق عددها عدد تلك التي في شيپات أشباه الموصلات بعدة مراتب **كبر**[2]، يمكن أن تحقق معالجة متوازية شديدة الكثافة.

لقد عالجت الدارات الحيوية في أيامها الأولى المعلومات بتكوين روابط بين الشرائط وتفكيكها. ويقوم الباحثون الآن بتطوير «برامج حاسوب جينية» يمكن أن تعيش وتتكاثر داخل الخلية، ولكن الصعوبة تكمن في إيجاد طرائق لبرمجة مجموعة من العناصر الحيوية للتصرف بطريقة معينة. يمكن للحواسيب البيولوجية أن تنتهي لتستقر في دم الجسم بدلا من سطح المكتب، وقد صنع الباحثون فعلا في معهد وايزمان للعلوم معالجا بسيطا من الدنا (*في الأعلى*)، وهم يحاولون الآن جعله يعمل ضمن خلية حية ويتواصل مع البيئة التي تحيط بتلك الخلية. ■

(*) Biological computing : Chips that live

(١) the National Institute of Standards and Technology

(٢) orders of magnitude : إذا كان مقدار أكبر من مقدار آخر بثلاث مراتب كِبَر مثلا، كان أكبر منه بألف مرة؛ أي إن عدد مراتب الكِبر هو أس العشرة. (التحرير)

مراجع للاستزادة

A Future of Integrated Electronics: Moving Off the Roadmap. Edited by Daniel J. Radack and John C. Zolper. Special issue of *Proceedings of the IEEE*, Vol. 96, No. 2; February 2008.

Carbon Wonderland. Andre K. Geim and Philip Kim in *Scientific American*, Vol. 298, No. 4, pages 68–75; April 2008.

Molecular Implementation of Simple Logic Programs. Tom Ran et al. in *Nature Nanotechnology*, Vol. 4, pages 642–648; October 2009.

***Scientific American*, January 2010**

تطوّر المعادن(*)

عند النظر إلى المملكة المعدنية عبر الزمن الطويل، تتبدّى لنا نتيجة مذهلة: وهي أن معظم أنواع المعادن مَدينَةٌ بوجودها للحياة.

<M .R. هازين>

في الماضي السحيق، لم يكن هناك أي **معدن** mineral في الكون. ولم تتكون أي مادة صلبة في الفترة الساخنة جدا التي أعقبت **الانفجار الأعظم** the big bang. وقد احتاج الكون إلى نصف مليون سنة منذ بدء خلقه حتى تنشأ أولى ذرات الهدروجين والهيليوم والقليل من الليثيوم. ومن ثم، انقضت ملايين أخرى من السنين، حوّلت **الثقالة** gravity فيها هذه الغازات البدائية إلى **السُّدُم**(1) الأولى التي بدورها انهارت مكونة النجوم الأولى الساخنة الكثيفة المتوهجة.

ولم تتكوّن العناصر الكيميائية الأخرى إلا عندما انفجرت بعض النجوم العملاقة متحولة إلى أولى **المستعرات الأعظمية** supernovas التي بعثرت هذه العناصر في الفضاء. ولم تتكوّن أولى القطع المعدنية الصلبة إلا في الأغلفة النجمية الغازية الباردة المتمددة. وحتى في هذه الأثناء، كانت معظم العناصر ومُركباتها نادرة جدا ومبعثرة أو شديدة التطاير، الأمر الذي لا يؤدي إلى إمكانية وجودها إلا على شكل ذرات أو جزيئات متفرقة في الغاز والغبار المتكوّن حديثا. وبسبب عدم تكوّن بلورات، ذات تركيب كيميائي مميز وذرات منتظمة في وحدات متكررة بانتظام، فقد فشلت هذه المادة في التأهل على شكل معادن.

وقد كان أول المعادن التي يُحتمل أنها تكونت، بلورات ميكروية من معدني الألماس والگرافيت، وهما شكلان نقيان من أشكال عنصر الكربون الموجود بكثرة. ثم انضم إليهما بسرعة دستة أو أكثر من بلورات ميكروية تتضمن معادن موسانيت (كربيد السليكون) وأسبورنيت (نتريد التيتانيوم) وبعض الأكاسيد والسليكات. وقد ظلت هذه الأنواع القليلة من المعادن - المعادن الكونية الأولى- لعشرات ملايين السنين، البلورات الوحيدة في الكون.

وعلى النقيض من ذلك، فاليوم يوجد في الأرض أكثر من 4400 معدن معروف والكثير الذي يُنتظر اكتشافه. فما الذي تسبب في هذا التنوع اللافت، من دستة إلى آلاف الأشكال المتبلورة؟ للإجابة عن هذا السؤال قُمت حديثا مع سبعة من زملائي، بعرض مخطط هيكلي جديد «لتطور المعادن» يختلف عن التفكير التقليدي القديم لعلم المعادن، حيث ينظر إلى المعادن على أنها أجسام قيّمة ذات تركيب كيميائي وصفات فيزيائية محددة، ولكنها غير مرتبطة بالزمن - وهو البعد الرابع الحرج في الجيولوجيا. وكبديل لذلك، فإن أسلوبنا يعتمد التاريخ الجيولوجي كإطار لفهم المعادن والعمليات التي أدت إلى نشأتها.

وقد بدا لنا بسرعة أن قصة تطور المعادن قد بدأت بنشوء الكواكب الصخرية؛ لأن الكواكب هي آلات تصنيع المعادن. نرى ذلك عبر 4.5 بليون سنة (عمر الأرض) حيث مرت الأرض بمجموعة من المراحل، في كل مرحلة منها ظواهر جديدة أدت إلى تغيير أو إغناء

(*) EVOLUTION OF MINERALS

(1) ج : سديم ؛ nebula

مفاهيم أساسية

- توجد دستة من المعادن (مركبات متبلورة) فقط بين مكوّنات النظام الشمسي قبل 4.6 بليون سنة، أما اليوم، فالأرض تحوي أكثر من 4400 نوع من المعادن.
- لقد تطور التنوع في معدنية الأرض عبر الدهور، وذلك من خلال تدخّل عمليات جديدة مكونة للمعادن.
- ومن المثير حقا، أن أكثر من نصف معادن الأرض مَدينَةٌ بوجودها للحياة التي بدأت بتحويل أو تشكيل جيولوجيّة الأرض قبل أكثر من بليوني سنة مضت.

محررو ساينتفيك أمريكان



مثير لمعدنية سطح كوكبنا.

وتعد بعض تفاصيل هذه القصة موضع اختلاف شديد، غير أنه مما لا شك فيه أنها ستتغير مع الاكتشافات المستقبلية، ولكن النصر الساحق لتطور المعادن جعله علما راسخ البنيان. لا أُقدّم وزملائي بيانات جديدة خلافية أو نظريات جديدة ثورية حول ما حدث في كل مرحلة من تاريخ الأرض. ولكننا، بالأحرى، نعيد صياغة القصة الكبرى لهذا التاريخ في ضوء تطور المعادن كمفهوم مرشد.

وعلى أي حال، فإنني أريد تأكيد بصيرة مثيرة للاهتمام: فمعظم آلاف المعادن الأرضية مَدينَةٌ بوجودها لتطور الحياة على كوكبنا. فإن تصورت جميع عالم الجمادات مرحلة أدت فيها الحياة مسرحيتها التطورية، فلتفكر مرة أخرى. فقد جدد الممثلون مسرحهم على طول الطريق. ولهذه الملاحظة أيضا مضامين في السعي إلى إيجاد إشارات للحياة في عوالم أخرى. فالمعادن القوية الثابتة وليس البقايا العضوية الهشة هي التي يمكن أن تقدم للحياة أقوى الإشارات وأكثرها استدامة.

[سياق زمني]

لقطات في نشوء المعادن(*)

في أثناء 4.6 بليون سنة انقضت منذ نشأة النظام الشمسي، تطورت مجموعة المعادن الموجودة من بدايات متواضعة - دستة معادن تقريبا في السديم السابق للشمس- إلى أكثر من 4400 معدن موجودة في الأرض الآن. لقد مرّ كوكبنا عبر سلسلة من المراحل (موضحة في *اليسار وفي الصفحات الآتية)* على شكل لقطات متضمنة عمليات متنوعة مولّدة للمعادن. وقد ولّد بعض هذه العمليات معادن جديدة كلية، بينما حولت بعض العمليات الأخرى وجه كوكبنا من خلال تحويل النادر منها إلى شائع.

قبل 4.6 بليون سنة، تكوّنت ملايين الكويكبات الصغيرة في قرص الغبار والغاز حيث بقيت حول الشمس المشتعلة حديثا (في الخلفية) وتصادمت لتنشأ عن ذلك الأرض (الأرض المتوهجة). وقد تطور أكثر من 200 معدن في مرحلة الكويكبات الصغيرة من ضمنها معدنا الأوليڤين والزركون، وذلك بسبب انصهار موادها وتصادمها وتفاعلها مع الماء. وقد وُجد الكثير من هذه المعادن في النيازك الكوندريتية.

◄ بلورات معدن الأوليڤين في الپالاسيت **pallasite** (نوع من النيازك)

كوندريت (نوع من النيازك) ◄

نشأة الأرض(**)

تنشأ الكواكب في سدم كونية بها بذور المادة التــي نتجت من انفجارات النجوم المســتعرة. تنجــذب معظم كتلة الســديم إلى داخله مكونة نجما مركزيا، بينما تشــكل المواد المتبقية من السديم قرصا عظيما يدور حول النجم. تتجمع هذه المواد المتبقية باطراد في كتل أكبر وأكبر: مثــل حبات الرمــل والحصى وكــرات بحجم قبضة اليد مكونة من الغبار الأولي الذي يحوي دســتة تقريبا من المعادن القديمة مع مجموعة من الذرات والجزيئات المختلفة.

ومــن ثم، تحــدث تغيرات مثيــرة عندما يشــتعل النجم الوليد ويغمر تجمعات الغبار والغــاز القريبــة بنار صاقلة. وفــي نظامنا الشمســي، حــدث الاشــتعال النجمي قبل 4.6 بليون ســنة تقريبا. وقد صهرت نبضات الحرارة الآتية من الشمس الوليدة العناصر وخلطتها وأنتجت بلورات تمثل مجموعة من المعادن الجديدة. ومن بين البلورات الجديدة التي تكونت في هذه المرحلة الأكثر قدما في مراحل التطور المعدني أولى سبائك الحديد والنيكل، والكربيتيدات والفوســفيدات مع حشد من الأكاسيد والسليكات. وقد وجدت هذه المعادن في النيازك الأكثر بدائية على شكل «**كريات كوندريوليــة**» chondrules: وهــي قطيرات مُبــرّدة بســرعة من صخــر كان مصهورا. (تقــدّم هذه النيازك **الكوندريتية** chondritic أيضا الدليل على المعادن الكونية الأولى التي ســبقت في تكونها الكريــات الكوندريولية. يجد علماء المعادن تلك المعادن الكونية الأولى على شــكل **حبيبات نانوية** nanoscopic أو ميكروية في النيازك).

وفي النظام الشمســي القــديم، تتجمع الكريــات الكوندريولية في كويكبات صغيرة جــدا، قد ينمو قطر بعضهــا إلى 100 ميل، وهو حجــم كاف لأن تنصهر جزئيا وتتمايز فــي طبقات علــى هيئة البصلــة مكونة من معــادن مميــزة متضمنــة لُبا كثيفــا غنيا بالفلزات. وفي جوار الشمس المزدحم، أدت التصادمات الكثيرة إلى صدمات قوية ومزيد

(*) Snapshots of Mineral Genesis
(**) Making Earth

أرض سوداء

لپيدوليت

بريل

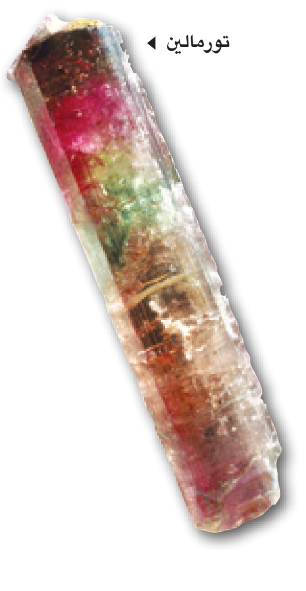
4.4 بليون سنة: في عصر الهاديان، كان سطح الأرض بلا حياة ويتكون أساسا من بازلت أسود، وهو صخر تكوّن من الصهارة والحمم **lava** أو اللابة. وفي بليوني سنة التي أعقبت ذلك، أُنتج ما يقارب **1500** معدن. وقد أدت عملية الانصهار الجزئي للصخور إلى تركيز عناصر نادرة ومتفرقة من مثل عنصر الليثيوم (في معدن لپيدوليت) والبرليوم (في معدن البريل) والبورون (في معدن التورمالين). كما تسهم في ذلك أيضا التفاعلات الكيميائية والتجوية للمحيطات الأولية وجو عدم التأكسد **anoxic atmosphere**. أما المعادن التي تنشأ تحت الضغط العالي مثل معدن الجاديت؛ فقد وصلت إلى سطح الأرض بتكتونية الصفائح.

من الحرارة، مما أدى إلى تغيير المعادن في الكويكبات الأكبر حجما. وقد كان للمياه أيضا دورها، فقد كان الماء موجودا منذ البداية على شكل حبيبات جليد في السديم السابق للشمس، وفي الكويكبات الصغيرة انصهر الماء المتجمد وتجمع في الشقوق والكسور. وقد نتجت معادن جديدة من التفاعلات الكيميائية مع هذه المياه.

وكنتيجة لهذه العمليات الدينامية، فلربما تشكل 250 معدنا. تعد هذه المعادن الـ 250 المواد الخام التي كوّنت الكواكب الصخرية، وجميع هذه المعادن ما زالت موجودة في المجموعات المتباينة للنيازك التي تسقط على الأرض.

أرض سوداء(*)

نمت الأرض البدائية أكبر وأكبر. فقد ابتلعت الكويكبات الكبيرة آلاف الكويكبات الصغيرة حتى بقي متنافسان اثنان في المنطقة: الأرض الأولية والمريخ الأصغر كثيرا



تورمالين

أدى تكرار عملية الانصهار الجزئي للگرانيت إلى تركيز عناصر نادرة متنافية.

(يعرف أحيانا باسم «ثيا» وهو أم إلهة القمر عند الإغريق). وفي عملية عنيفة ونهائية غير متخيلة، صدم «ثيا» الأرض الأولية جانبيا فبخر طبقاتها العليا وفجر 100 مليون تريليون طن من أبخرة صخرية ملتهبة إلى الفضاء ليتشكل منها القمر. ويفسر هذا السيناريو الزخم الزاوي العالي لنظام الأرض – القمر، كما يفسر الكثير من المظاهر غير العادية على القمر التي منها أن التركيب (الكيميائي) الكلي للقمر يشبه تركيب **ستار الأرض**[1] (وهو طبقة يبلغ سمكها نحو 2000 ميل وتنحصر بين لب الأرض المكون من الحديد والنيكل وقشرة الأرض التي يتراوح سمكها بين 3 و 30 ميلا).

عقب هذا التصادم الذي أنتج القمر قبل 4.5 بليون سنة تقريبا، دخلت الأرض في عملية تبريد ما زالت مستمرة إلى يومنا هذا. ومع أن سطح الأرض قد حوى مجموعة من عناصر نادرة – مثل اليورانيوم والبريليوم

(*) Black Earth

(١) Earth's mantle ؛ أو وشاح الأرض.



أرض حمراء

2 بليون سنة: أعطت الكائنات الحية القادرة على التركيب (التمثيل) الضوئي غلاف الأرض الجوي نسبة قليلة من الأكسجين، مغيرة بشكل مثير دوره الكيميائي. فتأكسدت معادن الحديد الثنائي التكافؤ (Fe^{2+}) الشائعة في البازلت الأسود إلى مركبات الحديد الثلاثي التكافؤ (Fe^{3+}) بحمرة الصدأ. وقد مهدت «ظاهرة الأكسدة العظيمة» الطريق لظهور أكثر من 2500 معدن جديد منها معدن الرودونيت (الذي يوجد في مناجم المنغنيز) والتوركواز. وقد رسّبت الكائناتُ الدقيقة (اللون الأخضر) طبقات رقيقة من المادة تدعى ستروماتوليت مكونة من معادن مثل كربونات الكالسيوم.

◄ مقطع في ستروماتوليت أحفوري

توركواز ◄

رودونيت▼

والذهــب والزرنيــخ والرصـــاص والكثير غيرها - كانت قادرة علــى تكوين مجموعة متنوعــة من المعــادن، إلا أن تصــادم «ثيا» كحادثة كونية خلــط الأوراق. فقد خلطت طبقــات الأرض الخارجية خلطا جيدا، أدى إلى بعثرة شــديدة لتلك العناصر الأقل شيوعا بحيث أصبحت غير قادرة على تكوين بلورات معادن مســتقلة. وقد كان كوكبنا معزولا وعدائيا يُقذف بشــكل متواصل ببقايا السديم ومغطى بشكل كبير بطبقة رقيقة من البازلت الأســود، وهو نوع من الصخور يتكوّن حتى الآن عندما تتصلب الحمم (**اللابة** ـ Lava).

وقــد ازداد التنــوع المعدني للأرض في أثناء دهر الهاديان ذي الاسم المناسب (قبل 4 بلايين سنة تقريبا)، وذلك من خلال تعاقب الانصهار والتصلب لقشرة الأرض الصلبة ومن خلال تفاعــلات التجوية مع المحيطات المبكرة والغلاف الجوي. وعبر عدد لا يحصى من الدورات؛ فإن الانصهار الجزئي وإعادة التصلب لحجوم مــن الصخور والتفاعلات المتبادلة بــين الصخور والماء مثل إذابة مركبات مختــارة، جميع ذلك أدى تدريجيا إلى تركيز عناصر غير شائعة بقدر كاف لنشــأة جيل جديــد من **المعادن الدخيلة أو الشاذة** exotic minerals.

لا يمتلك كل كوكــب هذا الإمكان العظيم لتكوين المعادن. فعطــارد الصغير اللامائي وقمر الأرض الجــاف تجمدا قبل أن يحدث انصهــار مهم فيهما. ومن ثم، فإننا نُقدّر أن عــدد المعادن في هذين الجرمين لا يزيد على 350 معدنا. أما المريخ، بميزانيته المتواضعة مــن المياه، فقد لاقى بعــض النجاح كنتيجة لأنــواع المعــادن المائية مثل معــادن الطين والتبخريات التي تتشكل عند تبخر المحيطات كلية. ونقدر أن مســابير «ناســا» قد تكون قادرة فــي النهاية على تحديــد 500 معدن مختلف على هذا الكوكب الأحمر.

إن الأرض أكبر وأســخن وأكثر رطوبة، ومــن ثم، فإن لديها حيــلا أخرى في تكوين المعــادن. وقــد شــهدت جميــع الكواكــب الصخرية نشاطا بركانيا صبّ البازلت فوق

في مرحلة جيولوجية، أدى التمثيل الضوئي، الذي قامت به أنواع جديدة من الطحالب، إلى حدوث الأكسدة العظيمة.

أرض بيضاء

700 مليون سنة: أدى التغير المناخي إلى تغطية سطح الأرض جميعه ملايين السنين بمعدن واحد هو الجليد. وفي النهاية، أحدث غاز ثاني أكسيد الكربون المنطلق من البراكين احترارا عالميا، وأصبح كوكبنا يدور بين المناخ الحار (البيت الحار) والمناخ الجليدي (كرة الجليد). ففي المناخ الحار، أضافت عملية التجوية إلى سطح الأرض كميات كبيرة من المعادن الطينية الدقيقة التحبب مثل الكاولينين. وترسبت، في المحيطات الضحلة الدافئة، «كربونات الغطاء» التي بها بلورات طولها 6 أقدام.

كاولين ▲

جليد ◄

سطوحها، غير أن الأرض (وربما الزهرة التي لها حجم مساو تقريبا) لديها حرارة باطنية كافية لإعادة صهر هذا البازلت لتكوّن مجموعة من الصخور النارية تدعى گرانيتويد (عائلة الگرانيت الكبرى) التي تتضمن الگرانيت المألوف كحجارة جوانب الطرق وأسطح المناضد ذات اللون اللحمي أو الرمادي. والگرانيت صخر خشن الحبات مكون من خليط من المعادن التي تتضمن الكوارتز (حبات الرمل الأكثر وضوحا على الشاطئ) والفلسپار (الأكثر شيوعا بين المعادن في قشرة الأرض) والميكا (الذي يكوّن رقائق معدنية لمّاعة). وقد أُنتجت جميع هذه المعادن في وقت سابق في الكويكبات الكبيرة ولكن بكميات صغيرة، ولكن أول ظهور لها، بكميات كبيرة في السجل الجيولوجي للأرض، كان مصاحبا للعمليات الأرضية المكونة للگرانيت.



▲ كربونات الغطاء

على الأرض، أدى الانصهار الجزئي المتكرر للگرانيت إلى تركيز عناصر نادرة غير قادرة على إيجاد مكان ملائم بلوريا في بنية المعادن الشائعة. وقد شهدت الصخور الناتجة وجود أكثر من 500 معدن تتضمن بلورات عملاقة لأنواع من المعادن غنية بعناصر الليثيوم والبريليوم والبورون والسيزيوم والتنتاليوم واليورانيوم ودستة أخرى من عناصر نادرة. وقد أخذت بعض هذه العناصر وقتا طويلا للوصول إلى تركيزات مكونة للمعادن – يقدر بعض العلماء ذلك بأكثر من بليون سنة. قد تكون الزهرة، توأم الأرض، بقيت نشطة وقتا طويلا كافيا لتصل إلى ما وصلت إليه الأرض، غير أن المريخ وعطارد لم تُظْهِر سطوحهما إشارات مهمة إلى حدوث عمليةِ تكوّن الگرانيت.

وقد كسبت الأرض المزيد من التنوع المعدني من خلال عملية شملت الأرض جميعها، وهي عملية تكتونية الصفائح التي تولّد قشرة جديدة على طول سلسلة من البراكين بينما تُبتلع القشرة القديمة في مناطق الغوص، حيث تنزلق صفيحة تحت



أرض خضراء

400 مليون سنة: ظهرت الكائنات العديدة الخلايا، واستعمرت النباتات اليابسة تبعتها بعد ذلك الحيوانات. وقد أدى التحلل الذي قامت به النباتات والفطريات إلى تزايد تجوية الصخور وإنتاج المعادن الطينية (خليط من معادن مائية) مرات عدة. ولأول مرة، أخذ سطح الأرض مظهره الحالي - والتوزيع الحديث للمعادن. تُنتج الحياة مباشرة أنواعا من المعادن مثل الأراگونيت والكالسيت (توجد في كل شيء من الترايلوبيت حتى هياكل البشر)، وكذلك بعض المعادن الشديدة الندرة مثل معدن هيزنيت الذي ترسب بفعل الميكروبات.

▲ أراگونيت

ترايلوبيت أحفوري ◄

أخــرى وتعــاد إلى ســتار الأرض. تغوص كميــات هائلة من الصخــور الرطبة المتنوعة كيميائيا من القشــرة حيــث تنصهر جزئيا متسبِّبة في تركيز آخر لعناصــر نادرة. وقــد أُنتجت المئات من المعادن في رواســب الكبريتيــدات الضخمة التــي تزودنا اليوم ببعض أغنى خامات العناصر على الأرض. وقد ظهرت مئات أنواع المعادن الأخرى أول مرة على ســطح الأرض عندما رفعت القوى التكتونية مناطق من صخور عميقة وكشفتها ومــا تحويه من معادن مميــزة تكوّنت تحت ضغط عال من مثل معدن جاديت (واحد من معدنين يعرفان بشــكل أفضل باسم الحجر الكريم «**جاد**» jade).

حصيلة كل ذلك، فإن 1500 معدن وُجدت على ســطح الأرض أو قريبا منه، ربما تكون تولّدت بعملية دينامية قشرة الأرض وستارها في أول بليوني سنة من عمر الأرض. غير أن علماء المعادن قد رصدوا أكثر من 4400 نوع معدنــي. فما الذي حــدث ليُضاعف التنوع

▲ هيزنيت

المعدني ثلاث مرات؟

أرض حمراء(*)

الجواب هو الحياة. يُميّزُ الغلافُ الحيوي الأرض من جميع الكواكب والأقمار المعروفة، وقــد حوّل الغــلاف الحيوي بشــكل نهائي بيئة ما حول ســطح الأرض - وبشكل أكثر وضوحــا المحيطات والغــلاف الجوي ولكن أيضا الصخور والمعادن.

لا يمكن لأقــدم تجلّيات الحياة - كائنات بدائية وحيدة الخلية تغذّت بالطاقة الكيميائية من الصخــور - أن يكون لها دور مهم في التنــوع المعدني لــلأرض. ومــن المؤكد أن الجيولوجيــين قد وجــدوا تكوينات صخرية تكوّنت بوســاطة عمليــات حيوية عمرها 3.5 بليون سنة، من ضمنها شعاب من كربونات الكالســيوم وتكاوين الحديد المخططة (حيث احتبســت أكاســيد الحديد، على ما يبدو، أول أكســجين ولّدته الحياة). ولكن الأرض

(*) Red Earth

ما زالت جرداء، فالغلاف الجوي ما زال يفتقد الأكسجين، والتجوية السطحية بطيئة، وأشكال الحياة الأولى لم تقدم شيئا يذكر في عدد المعادن الموجودة أو في توزيعها.

وقد تغير هذا الوضع في لحظة جيولوجية مع التزايد السريع للأكسجين في الغلاف الجوي بالظهور الجديد لنوع من الطحالب قادرة على التمثيل الضوئي. وما زال النقاش دائرا حول هذه المرحلة الانتقالية التي تدعى حادثة الأكسدة العظيمة. وعلى وجه الخصوص، لم يتفق الباحثون على بدايتها الزمنية وسرعة حدوثها بشكل دقيق. ولكن، وعند 2.2 بليون سنة مضت، ارتفعت نسبة الأكسجين الجوي أكثر من 1% مقارنة بنسبته الحالية ـ وهي كمية صغيرة ولكنها كانت كافية لتحويل معدنية سطح الأرض بشكل نهائي.

وقد دلت النمذجة الكيميائية التي قمت بها مع زملائي أن حادثة الأكسدة العظيمة قد مهدت الطريق لظهور أكثر من 2500 معدن جديد أكثرها منتجات **تجوية بالتميه** hydraction والأكسدة لمعادن أخرى. لا يحتمل تكوّن بلورات هذه الأنواع المعدنية في بيئة مختزلة، ومن ثم، فإن عمليات الأرض البيوكيميائية هي المسؤولة، على ما يبدو، بشكل مباشر أو غير مباشر عن أنواع المعادن الـ 4400 المعروفة.

وقد وُجدت معظم هذه المعادن الجديدة على شكل أغلفة رقيقة أو قشرة من مادة متغيرة على سطح الصخور. ولم يُعرف الكثير من أنواع المعادن النادرة إلا من خلال عدد محدود من بلورات قيّمة وزنها أقل من غرام واحد. غير أن حادثة الأكسدة العظيمة لها نتائج معدنية عالمية كذلك. ومن أبرز ذلك، أن الأرض قد صدأت – فعبر الكرة الأرضية، انقلب البازلت الأسود الذي ساد سطح الأرض في فترة سابقة إلى الأحمر عندما تأكسد الحديد الثنائي التكافؤ (Fe^{2+}) الموجود في معادن البازلت الشائع إلى مركبات الحديد الثلاثي التكافؤ (Fe^{3+}). قد تبدو الأرض من الفضاء قبل بليوني سنة حمراء كالمريخ، مع المحيطات الزرقاء والغيوم البيضاء، معطية تباينا لونيا مثيرا.

كانت الأكسدة سبب حمرة المريخ أيضا، غير أن أكسجين المريخ قد نتج من تفكك المياه بأشعة الشمس في أعلى الغلاف الجوي وإفلات الهدروجين إلى الفضاء الخارجي. وقد كوّنت هذه العملية كمية كافية من الأكسجين ليصدأ سطح الكوكب الصغير نوعا ما، ولكنها غير كافية لخلق آلاف المعادن التي نشأت على الأرض العالية الأكسدة والأكثر نشاطا جيولوجيا.

أرض بيضاء(*)

بعد بلايين السنين التي انقضت منذ حادثة الأكسدة العظيمة، حدث القليل مما يهمنا معدنيا، على ما يبدو. هذه الفترة التي تدعى «المحيط الأوسط»، أو بالاسم الغريب «**البليون الممل**» the boring billion، تبدو كفترة ركود نسبي حيويا ومعدنيا. ويشير لفظ «الأوسط» في الاسم أعلاه إلى مستويات الأكسجين: مياه المحيطات حول السطحية كانت مؤكسدة، غير أن المياه العميقة بقيت مختزلة. وقد ازداد عمق السطح الفاصل بين الكُتلتين المائيتين تدريجيا، ولكن لم تظهر أشكال رئيسية جديدة للحياة، ولا ظهرت أنواع معادن جديدة كذلك.

وعلى النقيض من البليون الممل، أظهر بضع مئات ملايين السنين التي أعقبته تغيرات بارزة على سطح الأرض. وعند 800 مليون سنة مضت تقريبا، تجمعت معظم قارات الأرض في عنقود (قارّي) ضخم قرب خط الاستواء يدعى **رودينيا** Rodinia. قامت قوى تكتونية الصفائح بتكسير هذه الكتلة القارية الكبيرة منتجة المزيد من خطوط الشواطئ وأمطارا أكثر وحتا صخريا أسرع – وهي عمليات امتصت ثاني أكسيد الكربون

(*) White Earth

الجوي المحتبس للحرارة. ومع ضعف **تأثير ظاهرة الدفيئة** greenhouse effect وتبريد المناخ اتسع جليد الأقطاب.

عكست المساحات النامية من الجليد والثلج المزيد من ضوء الشمس إلى الفضاء، مقللة بذلك من تأثير التسخين الشمسي. وكلما ازدادت مساحة الجليد أصبحت الأشياء أبرد. ولمدة 10 ملايين أو أكثر، تحولت الأرض إلى كرة جليد عملاقة باستثناء بعض البراكين النشطة من خلال الغطاء الأبيض الرقيق. وتشير بعض التقديرات إلى أن معدل درجة حرارة الأرض نزل إلى -50 درجة سيلزية.

غير أن الأرض لا يمكن أن تبقى حبيسة الجليد إلى الأبد. فقد استمرت البراكين بقذف غاز ثاني أكسيد الكربون، ومع عدم وجود المطر والقليل من التجوية اللذين يعملان على إزالة غازات الدفيئة ازدادت مستوياتها (غازات الدفيئة) باستمرار وببطء فبلغت مئات المرات ما هي عليه الآن، مما أحدث في النهاية دورة احترار دفيئية. فانصهر الجليد الاستوائي، وربما لا تكون فترة الاحترار هذه دامت أكثر من بضع مئات من السنين تحولت الأرض فيها من صندوق جليد إلى بيت دافئ.

وفي مدى الـ 200 مليون سنة التالية، دارت الأرض بين هذين الوضعين المتطرفين ربما دورتين إلى أربع دورات. ويبدو أن ظهور بعض المعادن الجديدة أمر قليل التوقع، في أثناء هذه الفترة المضطربة، وعلى الرغم من ذلك، فقد حدث تغير جذري في توزيع المعادن السطحية في كل دورة جليدية جديدة. وفي أثناء فترات البيت الدافئ، ازداد بشكل حاد إنتاج المعادن الطينية الدقيقة التحبب إضافة إلى نتاج عمليات التجوية من سطح الأرض الصخري العاري المنحوت. وفي المناطق الضحلة من المحيطات المسخنة، ترسبت معادن الكربونات على شكل مراوح بلورات عملاقة.

وقد كان لدورات كرة الجليد/البيت الدافئ آثار عميقة في الحياة. فقد أغلقت العصور الجليدية جميع الأنظمة البيئية تقريبا، بينما شهدت الفترات الدافئة زيادات مفاجئة في الإنتاج الحيوي. ومع نهاية آخر عصر جليدي كبير، على وجه الخصوص، ازداد الأكسجين الجوي من مجرد بضع نسب مئوية إلى15% تقريبا، أُنتجت جزئيا من خلال ازدهار طحلبي ساحلي واسع الانتشار. يعتقد كثير من علماء الحياة أن هذه المستويات المرتفعة من الأكسجين كانت مقدمة ضرورية لنشأة الحيوانات الكبرى وتطورها بسبب ارتفاع متطلباتها الأيضية. وبالفعل، فإن أول ظهور للكائنات الحية العديدة الخلايا في السجل الأحفوري حدث بعد 5 ملايين سنة من نهاية آخر فترة جليدية عالمية كبرى.

استمر الغلافان الأرضي والحيوي بالتطور سوية، خاصة بعد أن عرفت الميكروبات والحيوانات المتنوعة كيف تبني أصدافها أو قواقعها المعدنية الواقية. وقد قادت عملية إبداع صنع الهياكل الكربوناتية إلى ترسيب شعاب عظيمة من الحجر الجيري الموجودة في مواقع لا تحصى في الجروف والأنهار. ولم تكن هذه المعادن جديدة، لكن سيادتها لم تكن مسبوقة.

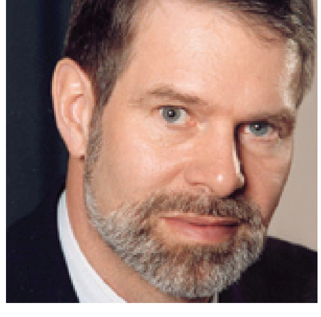
أرض خضراء(*)

كانت اليابسة غير مأهولة طوال معظم تاريخ الأرض. فالأشعة فوق البنفسجية الصادرة عن الشمس تدمر الجزيئات الحيوية الأساسية وتقتل معظم الخلايا. ومع ارتفاع مستوى الأكسجين الجوي، تطورت طبقة واقية من الأوزون عملت كدرع لليابسة تحتها تحميها من الأشعة فوق البنفسجية، ما يكفي لجعلها ملاذا لغلاف اليابسة الحيوي.

لقد استغرقت الحياة وقتا حتى ازدهرت على اليابسة. ربما تكون **الفرشات الطحلبية** algal mats قد عاشت في مناطق مستنقعية عقب مرحلة كرة الجليد، وكان

(*) Green Earth

المؤلف



Robert M. Hazen

أحد العلماء الأقدم في مختبرات الجيوفيزياء في معهد كارنيگي وأستاذ علم الأرض في جامعة جورج ماسون، حصل على الدكتوراه في علم الأرض من جامعة هارڤرد عام 1975. وللمؤلف أكثر من 350 بحثا علميا و20 كتابا منها كتابه **النشوء: البحث العلمي عن أصل الحياة**، *وكثيرا ما يقدم العلم لغير العلميين من خلال الراديو والتلفاز والمحاضرات العامة والڤيديو. أما اهتمامه البحثي الحالي فيتركز على دور المعادن في أصل الحياة. وقد سُمّي معدن هيزنيت، الذي ترسب بواسطة الميكروبات من مياه شديدة القلوية جدا في بحيرة مونو بكاليفورنيا، على اسمه.*

على التحول القاري الأكبر أن ينتظر حتى تطوّر **الحزازيات** mosses – أول نبات قاري حقيقي – قبل 460 مليون سنة تقريبا. ومن ثم استغرق الاستعمار الواسع لليابسة 10 ملايين سنة أخرى حتى ظهرت النباتات الوعائية التي تخترق جذورها الأراضي الصخرية للتثبت وجمع الماء.

وقد جاءت النباتات والفطريات بطرق بيوكيميائية سريعة لتفتيت الصخور، ما أدى إلى تسريع معدلات تجوية الصخور السطحية كالبازلت والگرانيت والحجر الجيري بنسبة أعلى. وقد ازدادت كمية المعادن الطينية ومعدل تكون التربة بشكل كبير، ما زود النباتات والفطريات المتنامية بموطن يتسع باستمرار.

وربما قبل 400 مليون سنة أي في العصر الديڤوني، تطور سطح الأرض ليصبح لأول مرة وبشكل لافت شبيها بما هو عليه الآن – حيث ازدهرت الغابات الخضراء المأهولة بأنواع متنامية باضطراد من الحشرات ورباعيات الأقدام ومخلوقات أخرى. وبفضل التأثير القوي للحياة، فإن معدنية ما حول سطح الأرض أيضا قد وصلت إلى مرحلة التنوع والتوزيع الحديث.

مستقبل تطور المعادن(*)

إن النظر إلى معدنية الأرض كقصة دينامية متغيرة، يشير إلى فرص بحثية مثيرة. وكمثال، فإن كواكب مختلفة قد أنجزت مراحل مختلفة من التطور المعدني. فالعوالم الصغيرة الجافة كعطارد وقمرنا لهما سطحان بسيطان بتنوع معدني منخفض. أما المريخ الصغير الرطب؛ فقد تقدّم أفضل قليلا. غير أن الكواكب الأكبر كالأرض والزهرة وبمستودعاتها الأكبر من المواد الطيارة والحرارة الباطنية، يمكن أن تتقدم أبعد من ذلك من خلال تكوّن صخور الگرانيتويد.

ولكن أصل الحياة والتطور الناتج المتوازي للحياة والمعادن، يضع الأرض وحيدة. وكما لاحظت سابقا، قد يكون للمعادن قيمة مساوية لقيمة **البقايا العضوية** organic remains في تعرُّف الحياة في عوالم أخرى. فمثلا، تلك العوالم التي بها حياة هي فقط التي يحتمل أن تكون مؤكسَدة على نطاق واسع.

قد تخضع العوالم المختلفة التركيب هي أيضا لتطورات معدنية مختلفة جدا. فقمر المشتري **أيو** Io، الغني بالكبريت، وقمر زحل تيتان المتجمد المفعم بالمواد الهيدروكربونية، لا بد أن يكون بهما حصيلة مختلفة من المعادن. ويحتمل أن يكون كذلك صحيحا بالنسبة إلى قمري يوروپا وإنسيلادوس (قمري المشتري وزحل على الترتيب)، حيث يعتقد أنهما يحتويان على محيطات من الماء السائل تحت سطحيهما الجليديين، ما يجعلهما من المواقع الرئيسية لوجود حياة غير أرضية عليهما.

كما أن النظرة إلى المعادن في سياق تطوري توضح أيضا موضوعا أكثر عمومية في تطور الأنظمة في الكون جميعه. فالحالات البسيطة تتطور إلى حالات أكثر تعقيدا في سياقات كثيرة: تطور العناصر الكيميائية في النجوم، وتطور المعادن في الكواكب، وتطور الجزيئات التي قادت إلى نشأة الحياة، والتطور الحيوي المألوف عبر الانتقاء (الانتخاب) الطبيعي الدارويني.

ومن ثم، فنحن نعيش في كون مؤسس على **التعقيد**(1): فذرات الهدروجين تُشكّلُ أو تُكوّنُ النجوم، والنجوم تُشكّلُ أو تُكوّنُ عناصر الجدول الدوري وهذه العناصر تُشكّلُ أو تُكوّنُ الكواكب، وهي بدورها تُشكّلُ أو تُكوّنُ المعادن بكثرة. تتوسط المعادن في تكوين الجزيئات الحيوية، والتي أدت إلى نشأة الحياة على الأرض. وتمثل المعادن، في هذا السيناريو الكاسح، خطوة لا رجعة عنها في تطور الكون الذي يتعلم كيف يفهم ذاته. ■

(*) The Future of Mineral Evolution
(١) complexification؛ أو التركيب.

قد يكون للمعادن قيمة مساوية لقيمة البقايا العضوية من أجل تعرف بصمة الحياة على عوالم أخرى.

مراجع للاستزادة

Planetary Materials. Edited by J. J. Papike. Mineralogical Society of America, 1998.

The Emergence of Everything: How the World Became Complex. Harold J. Morowitz. Oxford University Press, 2002.

Life on a Young Planet: The First Three Billion Years of Evolution on Earth. Andrew H. Knoll. Princeton University Press, 2003.

Chemical Evolution across Time and Space: From Big Bang to Prebiotic Chemistry. Edited by Lori Zaikowski and Jon M. Friedrich. American Chemical Society, 2007.

Mineral Evolution. Robert M. Hazen et al. in *American Mineralogist*, Vol. 93, pages 1693–1720; 2008.

Scientific American, March 2010

معالجة مشكلة النتروجين العالمية(*)

تعتمد البشرية على النتروجين لتسميد الأراضي المزروعة بالمحاصيل، ولكن تزايد الاستخدام عالميا يخرب البيئة ويهدد صحة البشر. فكيف نستطيع رسم مسار أكثر استدامة؟

<A. R. تاونسيند> – <R. W. هوارث>

بلايين البشر يدينون اليوم بحياتهم لاكتشاف متميّز تمّ منذ قرن من الزمن. ففي عام 1909 وضع العالم الألماني <F. هابر> [من جامعة كارلسروه] طريقة لتحويل غاز النتروجين – المتوافر بكثرة في الجو والعديم النشاط، ومن ثم غير المتاح لمعظم الكائنات الحية – إلى أمونيا، وهي المكون الفعّال في **السماد الاصطناعي** synthetic fertilizer. وبعد ذلك بعشرين سنة، تفجرت قدرة العالَم على إنتاج الغذاء؛ لأن عالما ألمانيا آخر هو <C. بوش> طور خطة لاستثمار فكرة <هابر> صناعيا.

وقامت المصانع الجديدة التي تأسست في عشرات السنوات التالية بتحويل طن بعد طن من الأمونيا الصناعية إلى سماد، وينال اليوم اختراع «هابر– بوش» تقديرا كبيرا بوصفه إحدى أكثر الهبات أهمية لصحة الإنسان في تاريخ البشر. لقد مكنت الأسمدة الاصطناعية، بوصفها إحدى الدعامات الأساسية في الثورة الخضراء، المزارعين من تحويل الأراضي القاحلة إلى حقول خصيبة وتمكينهم من زراعة المحصول تلو المحصول في التربة نفسها دون انتظار تجدد مغذّياتها طبيعيا. ونتيجة لذلك، ازداد عدد سكان الأرض بسرعة هائلة من 1.6 بليون إلى ستة بلايين نسمة في القرن العشرين.

ولكن البشرية دفعت ثمن هذه الأخبار الطيبة غاليا. إذ إن معظم **النتروجين التفاعلي** reactive nitrogen الذي نصنعه ـ بغية تحويله إلى سماد، وبدرجة أقل النتروجين الذي ينتج ثانويا بسبب حرق الوقود الأحفوري لتزويد السيارات والمصانع بالطاقة ـ لا ينتهي في الغذاء الذي يتناوله البشر، بل يهاجر إلى الجو والأنهار والمحيطات حيث يقوم فيها بتحولات تتراوح طبيعتها بين الخير والشر، فهو مفيد حينا وملوث لا يُكبَحُ جماحه حينا آخر. وقد ألقى العلماء، منذ زمن، على عاتق النتروجين التفاعلي مسؤولية ازدهار الطحالب الضارة وتشكيل مناطق ساحلية قاحلة وتلويث البيئة بالأوزون. وأضافت الأبحاث الحديثة إلى صفحة اتهام النتروجين مسألة فقدان التنوع البيولوجي ومسألة **الاحترار العالمي** global warming وكذلك مؤشرات تدل على مسؤوليته عن زيادة حدوث عدد من الأمراض الفتاكة بالبشر.

ويقوم الناس اليوم بتوليد النتروجين التفاعلي وحقنه في البيئة بوتيرة متسارعة. ويعود ذلك جزئيا إلى أنّ العديد من الأمم بدأت تلتحق بالركب الشغوف بالسعي وراء الاستعمال المكثف للسماد في اصطناع الوقود البيولوجي وفي إنتاج اللحوم (نظم اللحوم الغذائية المكثفة المعتمدة على زراعة الحبوب العلفية على نطاق واسع). وكذلك، فقد ساد في بعض المناطق مثل جنوبي

مفاهيم مفتاحية

- **يبرز التلوث بالنتروجين، الصادر عن المداخن وأنابيب عوادم المحركات وحقول المحاصيل الزراعية المسمدة بوفرة، حشدا من التحديات للبيئة ولصحة الإنسان.**
- **تتراكم هذه العلل؛ لأن بعض البلدان تزيد من حرقها للوقود الأحفوري وتسعى إلى تطبيق التسميد الكثيف لتحقيق أهداف مثل إنتاج الوقود البيولوجي.**
- **الأسمدة الاصطناعية باقية ولا يمكن الاستغناء عنها لمواجهة الطلب المتزايد على الغذاء في العالم، لكن العالم يستطيع – بل يجب عليه – أن يحصل على المزيد باستعمال القليل.**

محررو ساينتفيك أمريكان

(*) FIXING THE GLOBAL NITROGEN PROBLEM



أمريكا وآسيا، استعمال السماد بكثافة في إنتاج المحاصيل الغذائية وحرق غير منظم للوقود الأحفوري. ولذلك، لا يوجد ما يدعو إلى الدهشة عندما نصادف المناطق القاحلة وبعض المشكلات الأخرى ذات العلاقة بالنتروجين في كل مكان بعد أن كان وجودها محصورا في أمريكا الشمالية وأوروبا.

ولكن، وفي الوقت ذاته، فإن السماد يجب أن يكون الأداة الرائدة في تطوير مصادر غذائية موثوق بها في مناطق إفريقيا شبه الصحراوية وفي المناطق الأخرى التي تعاني نقص الغذاء. وعلى المجتمع الدولي أن يُوحّد الجهود لإيجاد طرائق أفضل لإدارة استعمال الأسمدة ولمواجهة عواقب هذا الاستعمال في جميع أنحاء العالم. ومن المؤكد أن الحلول لن تكون في أي حال بسيطة، ولكنها ليست بعيدة المنال.

إفراط في المزايا(*)

يتطلب حل مشكلة النتروجين فهما واسعا لكيمياء هذا العنصر وإدراكا دقيقا لكيفية رعايته المشكلات البيئية. تنشأ علل - وفوائد - النتروجين عندما تتفكك جزيئات النتروجين الغازي N_2 وتتحول إلى ذرات متباعدة. إن جميع أشكال الحياة تحتاج إلى النتروجين، ولكن العدد الأعظم من الكائنات الحية ليس قادرا على الاستفادة من خزان النتروجين الأكبر وهو الجو. يؤلف النتروجين نحو 78% من الجو، وهو غاز خامل. تعتمد الطريقة التي تتبعها الطبيعة في جعل النتروجين متاحا للحياة على فعل مجموعة صغيرة من البكتيريا تستطيع تفكيك الرابطة الثلاثية الكائنة بين الذرتين المؤلفتين لجزيء النتروجين، وهي عملية تدعى **تثبيت النتروجين** nitrogen fixation. توجد هذه البكتيريا المتخصصة في حالة حية حرة على اليابسة وفي كل من المياه العذبة والمالحة، كما توجد متعايشة مع جذور البقوليات التي تؤلف أحد أكثر المحاصيل أهمية في العالم وتتفكّك كمية صغيرة أخرى من غاز النتروجين عندما يضربه البرق وتسخّنه ثورات البراكين.

كانت كمية النتروجين التفاعلي المنتجة في العالم، قبل أن يبدأ البشر باستثمار تقنية «هابر- بوش» وتقنيات تثبيت النتروجين الأخرى، متوازنة بفضل نشاط مجموعة صغيرة أخرى من البكتيريا تقوم بتحويل النتروجين التفاعلي إلى نتروجين غازي بعملية تدعى **نزع النترجة** denitrification. وفي غضون جيل بشري واحد تغير هذا التوازن الهش كليا. ففي عام 2005 أصبح البشر ينتجون أكثر من 400 بليون پاوند (الپاوند = 0.37 كغ) من النتروجين التفاعلي كل عام، وهي كمية تعادل على الأقل ضعف الكمية التي تنتجها جميع العمليات الطبيعية على سطح الأرض [*انظر الشكل في أعلى الصفحة 70*].

وعندما يتحرر النتروجين، الذي يوصف أحيانا بأنه أكثر عناصر الطبيعة اضطرابا، من حالته غير التفاعلية، أي الخاملة، فإنه يتسبب في عدد كبير من المشكلات البيئية؛ لأنه قادر على الاتحاد مع الكثير من المواد الكيميائية وعلى الانتشار مبتعدا في جميع الاتجاهات. وعندما تدخل ذرة جديدة من النتروجين التفاعلي في الجو أو في أحد الأنهار فإنها قد تتوضع على بُعد عشرات أو مئات الأميال من مكان مصدرها ، وحتى إنّها قد تتوضّع على بعض أكثر أصقاع الأرض بُعدا ويشهد على ذلك اليوم المستويات المرتفعة من النتروجين بسبب نشاطات البشر. وقد تكون أكثر الصفات خطورة، هي قدرة ذرة جديدة واحدة من النتروجين التفاعلي على الوثب شاقة طريقها حول هذه البيئات الواسعة الانتشار مثل مُجرم في فورة ارتكابه جريمته.

(*) Too Much of a Good Thing



العالم قادر على إنتاج غذاء أكثر بسماد أقل.

حصاد العواقب(**)

عندما يضاف النتروجين إلى حقل من نبات الذرة أو إلى مرج أخضر تكون النتيجة معروفة وبسيطة، وهي أن النباتات ستنمو بشكل أفضل. ولكن الاستجابات في المنظومات البيئية الطبيعية تكون أكثر تعقيدا وغالبا ما تدعو إلى القلق. فعندما تصب مياه الأنهار المحملة بالأسمدة في البحر مثلا، تُنشّط ازدهار نباتات مجهرية تستهلك الأكسجين لدى تحللها مؤدية في مرحلة لاحقة إلى تكوين ما يسمى بالمناطق القاحلة. وحتى على اليابسة، لا تستجيب جميع النباتات الموجودة في منظومة بيئية معقدة بالتساوي إلى موارد النتروجين، فهناك العديد منها غير مؤهل لاستقبال وفرة الموارد المفاجئة، ولذلك تخسر في مواجهة أنواع جديدة أقدر على المنافسة في عالم غني بالمغذيات. وغالبا ما تكون النتيجة النهائية هي فقدان التنوع البيولوجي. ولذا، نجد مثلا أن الأراضي العشبية في معظم أرجاء أوروبا قد فقدت ربع أنواعها النباتية أو أكثر بعد انقضاء عقود من الزمن على قدرة الإنسان على تحويل النتروجين الموجود في الجو. وهذه المشكلة منتشرة إلى أبعد الحدود لدرجة أنّ دراسة علمية حديثة صنفت التلوث بالنتروجين واحدا من الأمور الثلاثة الأولى المهدِّدة للتنوع البيولوجي في العالم. ولذلك، تعتبر معاهدة برنامج الأمم المتحدة للبيئة حول التنوع البيولوجي، أن تخفيض كميات النتروجين المأخوذة من الجو هو المؤشر الأساسي لنجاح مسألة المحافظة على التنوع.

إنّ فقدان نبات نادر لا يثير عادة أي قلق لدى عامة الناس، وكذلك لدى من بيده صياغة السياسات. ولكن زيادة النتروجين

(*) Nitrogen's Dark Side
(**) Reaping the Consequences



لا يقتصـــر ضررها على الأنواع الأخرى فقط - بل قـد تهددنا نحن البشـــر أيضا. وتبـين مقالــة مرجعية صــادرة عن **معاهد الصحة الوطنية**(1) أنّ ارتفاع تركيز النترات في ماء الشـــرب - غالبا مـــا يعود ذلك إلى تلوث المياه الناتج من ارتفاع سويات النترات في الأسمدة العامة - قد يسهم في العديد من المشكلات الصحية المتضمنة عددا من أنواع الســرطان. وتتأثر مئات الملايين من البشر بتلوث الهواء بملوثات ذات علاقة بالنتروجين مثل الجسيمات المعلقة في الهواء **ومستوى الأوزون عنـد سـطح الأرض** ground-level ozone، فتــزداد فــرص حــدوث الاعتلالات القلبيــة الرئويــة وترتفع إجمـــالا تبعا لذلك معدلات الوفيات.

ومن المتوقع أن تُوجه أيضا الاستجابات البيئيــة الناتجــة من زيـــادة النتروجين (مع الأســمدة الكيميائية الأخرى المنتشـــرة في كل مكان والأســمدة الفسفورية) فيضا من التهديدات الصحية الأخرى للبشـــر. وليس علينا ســوى الانتظـــار لنرى مـــا هو مدى ضخامة الاستجابات وتنوعها. ولكن العلماء يدركــون من الآن أنّ إغناء المنظومات البيئية بالنتروجـــين يُغيّر البيئـــة وفق عدد هائل من الأســاليب. ويبين دليل مكتشـــف حديثا أن زيادة النتروجين قد تزيد في فرص الإصابة بمـرض الألزهايمر ومرض ســكر الدم إذا ما وصلــت النترات إلى جهـــاز الهضم عن طريق ماء الشرب. وكذلك، قد تؤدي الزيادة إلى رفع مســتوى إطلاق الجسيمات المثيرة للحساسية المعلقة في الهواء وتعزيز انتشار بعض الأمراض المعدية الأخرى. فقد يؤدي، على سبيل المثال، تسميد أعشاب «**الراگويد**» ragweed إلى زيادة إنتاج غبار الطلع الناجم عن ذلك العشـــب الضار. وتــزداد إمكانية إصابة نسبة أكبر من البشر ببعض الأمراض مثل الملاريا والكوليرا والبلهارسيا وڤيروس غرب النيل عندما يكون النتروجين غزيرا.

وتتحكم في الأمراض الســـابقة الذكر وغيرهـــا من الأمراض ســـلوكيات الأنواع الأخــرى الموجـــودة في البيئـــة، وبخاصة الأنـــواع التي تحمــل العامــل الممرض - فمثــلا، ينشـــر البعوض طفيلـــي الملاريا، وتحـــرّر الحلازين البلهارســـيا فـــي الماء. ويعد الحلزون أفضل مثال على كيفية قيام النتروجين بإطلاق عنان تفاعل متسلســـل: يـــؤدي فيه النتروجين والفســـفور الفائض والمتســـرب إلى البيئة إلى زيادة كبيرة في نمو النباتات في المســـطحات المائية، وهذه بدورها تقوم بتقديم غـــذاء أوفر للحلازين التي تتكاثر عندئذ بســـرعة فينتج مجتمع كبير متسارع النمو من الحلازين الحاملة للعامـــل الممرض. وكذلك، تـــؤدي المغذيات الإضافية إلى زيـــادة كبيرة جدا في قدرة الحلزون على إنتاج العوامل الممرضة. ولكن ما زال من المبكر القول إن التلوث بالمغذيات

(1) National Institutes of Health

حقائق سريعة

أكثر من نصف السماد الاصطناعي المنتج من بدء الإنتاج، استعمل في العشرين سنة الماضية.

ازدادت سرعة إنتاج النتروجين الاصطناعي بنسبة 80% منذ عام 1960 مصغّرا نسبة الزيادة 25% من ثاني أكسيد الكربون في الجو خلال المرحلة السابقة نفسها.

إذا ما تحول الأمريكيون إلى النظام الغذائي لسكان منطقة البحر الأبيض المتوسط؛ فقد ينخفض استخدامهم للسماد إلى النصف.

يؤدي عموما إلى زيادة مخاطر الأمراض. ففي بعض الحالات، قد تخفض التغيراتُ البيئيةُ الناتجة المخاطرَ الصحية التي نواجهها. غير أن إمكانية حدوث التغيير ومن ثم حاجتنا إلى معرفة الدور الذي سيؤديه، تزداد بسرعة مع انتشار استعمال الأسمدة المتنامي إلى المناطق المدارية الكثيرة الأمراض في العقود القادمة.

وتلقي الأدلة المتزايدة اللوم على النتروجين التفاعلي لدوره المتزايد الأهمية في مسألة التغير المناخي. يقود النتروجين التفاعلي - عندما يوجد في الجو على شكل أكسيد النتريك (NO) أو على شكل ثاني أكسيد النتروجين (NO_2) اللذين يرمز لهما مجتمعين بالرمز NO_x – إلى أحد منتجاته

النشاطات البشرية نحو
400
بليون پاوند سنويا

المصادر الطبيعية نحو
200
بليون پاوند سنويا

(الپاوند= 0.37 كغ)

أسمدة اصطناعية، استهلاك وقود أحفوري، استعمالات صناعية للأمونيا (بلاستيك، متفجرات...) زراعة فول الصويا والمحاصيل البقولية الأخرى.

بكتيريا مثبتة للنتروجين في التربة، برق، براكين.

ضاعفت النشاطات البشرية كمية النتروجين التفاعلي المنطلق في البيئات الأرضية وسواحل المحيطات ثلاث مرات في كل عام.

الثانوية الرئيسية غير المرغوب فيها – أوزون مستوى سطح الأرض. يعد تشكل هذا النوع من الأوزون سيئا، ليس فقط لأنه ضار بصحة الإنسان بل لأنّه عند مستوى سطح الأرض يكون الأوزون أيضا من غازات الدفيئة المهمة. وإضافة إلى ذلك، يؤدي هذا الأوزون إلى تلف النسج النباتية مسببا خسارة في إنتاج المحاصيل تبلغ بلايين الدولارات سنويا. أضف إلى ذلك، أنه عندما يتثبط النمو فإن ذلك يحد من قدرة النبات على امتصاص ثاني أكسيد الكربون (CO_2) من الجو ممّا يؤدّي إلى الاحترار العالمي.

إن النتروجين التفاعلي هو فعلا تهديد مقلق لمسألة التغير المناخي عندما

(*) Shifting Hotspots

[وجهات نظر عالمية]

انزياح البقع الساخنة(*)

كانت المناطق ذات الاستعمال الأعظمي للنتروجين (*باللون الأحمر*) مقصورة أساسا فيما مضى على أوروبا وأمريكا الشمالية. ولكن بسبب ظهور اقتصادات جديدة وانزياح التوجهات الزراعية تغيرت أنماط توزع النتروجين بسرعة. لذلك، فإن معدلات النمو الحديثة في استعمال النتروجين هي الآن أعلى كثيرا في آسيا وفي أمريكا اللاتينية، في حين أن مناطق أخرى – متضمنة معظم إفريقيا – تعاني نقص الأسمدة.



يوجد على شكل أكسيد النتروز (N_2O) - وهو أحد أقوى غازات **الدفيئة** greenhouse. يمتلك جزيء واحد من أكسيد النتروز قدرة على زيادة الاحترار العالمي أكثر بنحو 300 مرة من قدرة جزيء ثاني أكسيد الكربون. وعلى الرغم من أن أكسيد النتروز أقل وفرة بكثير من ثاني أكسيد الكربون في الجو، إلا أن تركيزه في الجو في الوقت الحاضر يعد مسؤولا عن نحو 10 في المئة من الاحترار العالمي بنسبة تعادل 10% من إسهام غاز ثاني أكسيد الكربون. ومن الجدير بالذكر، أن زيادة النتروجين قد تؤدي أحيانا إلى معاكسة الاحترار – وذلك عندما يتحد مع مركبات أخرى معلقة في الهواء مشكلا **حلالات هوائية** aerosols تعكس الأشعة الواردة إلى سطح الأرض مثلا، أو عندما يُحفز النباتات، في الغابات المحدودة الموارد من النتروجين، على النمو وبذلك تمتص مقدارا أكبر من ثاني أكسيد الكربون من الجو. ولكن، وعلى الرغم من الشكوك في مسألة التوازن في تأثيرات النتروجين التسخينية والتبريدية، فإن الأمر المؤكد هو أن جميع الدلائل تشير إلى أن استمرار الإنسان بتصنيع المزيد من النتروجين سيسرع الاحترار المناخي.



صرعة الوقود البيولوجي: يمكن أن يسهم إنتاج الوقود البيولوجي المعتمد على نبات الذرة مع نظام تسميده المكثف بالنتروجين في زيادة الاحترار العالمي أكثر مما يقلله الاقتصاد في استعمال الوقود الأحفوري.

ما هو الحل[*]

ومع أنّ إنتاج السماد هو المسؤول إلى حد بعيد عن النتروجين الذي يؤذي الآن كوكب الأرض – يُثبّت البشر نحو ثلثي الكمية المنتجة – إلا أن إيقاف إنتاج السماد ليس قطعا الحل المناسب. فالسماد مهم جدا لتوفير الغذاء على الصعيد العالمي. ولكن، وبالتأكيد، يجب أن يكون التشديد على الاستعمال الفعّال جزءا من الحل في جميع البلدان، الغنية منها والفقيرة.

فتحت الدول الغنية الطريق إلى نظام زراعي يتصف غالبا بكونه يعتمد بصورة استثنائية على استخدام النتروجين بكثافة وفي عدم فعالية هذا المورد الرئيسي. وغالبا ما يكون استعمال هذه الدول للنتروجين شبيها بفورة إنفاق ذات عائد قليل على الاستثمار، وعدم مبالاة بالتكلفة الحقيقية، في حين نجد في مناطق أخرى من العالم بلايين البشر غارقين في دورات من الفقر وسوء التغذية. وقد تكون مناطق إفريقيا شبه الصحراوية أو المجاورة للصحراء أفضل مثال ، ففي هذه المناطق غالبا ما يفشل الإنتاج الزراعي في توفير احتياجات **السعرات الحرارية** caloric needs الأساسية ، ويلغي أن يكون مصدرا للدخل. إن إدخال الأسمدة النتروجينية في تلك المناطق سيؤدي بالتأكيد إلى تحسين أحوال البشر. إذ أدت سياسة اتبعت حديثا - لإمداد المزارعين الفقراء في مالاوي، على سبيل المثال، بأسمدة رخيصة الثمن وأصناف محسّنة من البذار - إلى زيادة كبيرة في المحصول وتخفيض واضح للمجاعة.

ولكن لا يجوز أن يُنفَقَ هذا السماد بإسراف ومن دون حكمة . والدليل على صدق هذه المقولة ماثل أمام أعيننا، إذ تبين الدراسات التي تناولت حزام حقول الذرة، الممتد من الغرب الأوسط في الولايات المتحدة U.S. Midwest إلى حقول القمح المكسيكية، أن الإفراط في التسميد هو الإجراء العادي المتبع فيما يسمى بمناطق زراعة الحبوب في العالم – ومن المؤكد أن استعمال كمية أقل من السماد لن يؤدي إلى إنتاج كمية أقل من المحصول. والحقيقة البسيطة هي أن العالم قادر على إنتاج غذاء

رهن اختياركم[**]

إن تبني خيارات شخصية معينة سينقص أثر الكربون والنتروجين في آن واحد.

- ادعم طاقة الرياح والمركبات الهجينة والسياسات الأخرى المصممة لتخفيف استهلاك الوقود الأحفوري.
- اختر لحوم الحيوانات التي تتغذى بالأعشاب، وقلل من أكل اللحوم عموما.
- اشترِ المنتجات المحلية.

(*) What to Do
(**) It's Up To You

أكثر بسماد أقل بتغيير الممارسات الزراعية التي اكتسبت صفة العادة في الحقبة التي كان فيها السماد زهيد الثمن وكثير الوفرة، ولم يكن أحد يعير مسألة عواقب الاستعمال المفرط المستمر للسماد أي انتباه. ويمكن القول إن خفض الكمية الكلية المستعملة في عدد كبير من المحاصيل هو ببساطة نقطة البداية الصحيحة، إذ في الكثير من الحالات تكون كميات السماد المستعملة أعلى بكثير من المستوى اللازم لإنتاج محصول أعظمي في معظم السنين، مما يؤدي إلى تسرب كميات متفاوتة المقدار إلى البيئة. فالناس في الولايات المتحدة يستهلكون أكثر من 10 في المئة مما يستخدمه المزارعون في حقولهم في كل عام، وفي نهاية المطاف تنتهي الزيادة من السماد إلى البيئة. وهذه التقديرات متغيرة، ففي حالة العديد من محاصيلنا العامة يغسل المطر ربع إلى نصف ما يستخدم من السماد فيذهب إلى الأنهار أو يجد وسيلة للانتقال إلى الجو.

ويمكن الحصول على المساعدة من **التقنيات الزراعية الدقيقة** precision farming techniques. إذ تعد إضافة السماد بالقرب من جذور النبات عندما يكون النبات في أشدّ الحاجة إليه، أحد الأمثلة على الطرائق التي تُنجز حاليا في بعض المناطق الأكثر غنى في العالم. ويمكن للمزارعين أن يعيدوا بدقة حساب كمية السماد اللازم لحقولهم وموعد إضافة هذا السماد، وذلك بالاعتماد على **نظام تحديد الموقع العالمي** Global Positioning System الذي يرسم لهم خريطة حقولهم ويحسب لهم مستوى الغذاء المتوفر في التربة عن طريق **الاستشعار من بعد** remote sensing. ولكن ارتفاع تكلفة مثل هذه المعدات يحول دون الاستفادة منها من قِبل الكثير من المزارعين الفرادى، لذلك فإن هذه التقنيات الزراعية الدقيقة لا يمكن أن تُعدّ حلا من الحلول.

ولكن الحلول ليست جميعها ذات تقنية عالية. وتتضمن بعض الاستراتيجيات الفعالة والرخيصة زراعة محاصيل شتوية تغطي التربة، وهذا ما يحتجز النتروجين في الحقل بدلا من ترك الحقل عاريا عدة أشهر، ومن الحلول أيضا اللجوء إلى ترك نوع ما من الغطاء النباتي ينمو بين صفوف نباتات المحصول المرتفع القيمة كالذرة مثلا. وكذلك، يمكن تحقيق فارق كبير إذا ما قمنا ببساطة بإضافة السماد في بداية الربيع بدلا من الانتظار إلى الخريف.

ويمكن أيضا للعالم أن يستفيد من تغييرات في إنتاج اللحوم. يذهب معظم النتروجين الذي يتحول إلى محاصيل نباتية إلى أفواه الخنازير والأبقار والدجاج - وتنتهي معظم كتلة هذه المحاصيل على شكل غازات ناتجة من التجشؤ والتبول والتغوط. وعلى الرغم من أن تخفيض الاستهلاك العالمي من اللحم قد يشكل خطوة قيمة، لكن بروتين اللحم سيبقى جزءا مهما من معظم الأنظمة الغذائية عند البشر، لذلك يجب تحسين كفاءة إنتاج اللحوم. ويمكن الحصول على بعض المساعدة المحدودة عند تغيير نوعية الوجبة الغذائية للحيوانات - كأن نطعم الأبقار الكثير من العشب وكمية أقل من الذرة - وكذلك من المجدي إجراء معالجة أفضل لفضلات الحيوانات التي من شأنها، كما في منشآت معالجة الصرف الصحي للبشر، تحويل الكثير من النتروجين التفاعلي إلى شكله الغازي الخامل قبل إطلاقه في البيئة[1].

ومن ناحية الطاقة التي تمثل نحو 20 في المئة من النتروجين الفائض في العالم، يمكن إزالة الكثير من النتروجين التفاعلي من الإصدارات الحالية المنبعثة من الوقود الأحفوري بنشر استعمال تقانات غسل أكاسيد النتروجين (NO_x) في المداخن ومصادر التلوث الصناعي الأخرى. إضافة إلى ذلك، يجب استمرار بذل الجهود العالمية لتحسين الكفاءة في قطاع الطاقة والتحرك

حلول في متناول اليد(*)

- يمكن للصناعة أن تستعمل عددا أكبر من تقانات غسل أكاسيد النتروجين (NO_x) تُنشأ على المداخن ومصادر التلوث الأخرى.
- يمكن للمزارعين التوجه نحو استعمال سماد أقل. إن إضافة سماد أقل لا تؤدي إلى فقدان المحصول.
- يمكن للمسؤولين عن المجتمع أن يتأكدوا من فصل حقول المحاصيل عن بعضها بأراض رطبة تقوم بامتصاص التسربات المحملة بالنتروجين قبل دخولها الأنهار والبحيرات.
- يمكن للأمم إنشاء مؤسسات تقدم إعانات مالية لمكافأة القائمين على رعاية شؤون البيئة.

(*) Solutions Are Within Reach

(١) انظر: «*The Greenhouse Hamburger,*» by Nathan Fiala; *Scientific American*, February 2009

نحو مصـــادر متجددة أنظـف، الأمر الذي ســيؤدي إلى خفض إصـــدارات النتروجين بالترافق مـــع إصدارات الكربـــون. ويمكن تحقيق فرق كبير عند إيقاف تشـــغيل معامل الطاقة القديمة والقليلـــة الكفاءة من الإنتاج وزيادة صرامة معايير الإصدار في المركبات، وإذا أمكن الانتقال في **توليد القدرة** power generation من طريقة الاحتراق التقليدية إلى **خلايا الوقود** fuel cells .

وتجدر الإشـــارة إلى أن أحـــد مصادر الطاقـــة المتجـــددة - الوقـــود البيولوجـــي المصنـــوع من نبات الذرة - يولد طلبا جديدا على الأســـمدة. وفي الولايات المتحدة، تؤدي الزيادة غيـــر المعقولة في إنتاج الإيثانول من الذرة - ارتفع الإنتـــاج نحو أربعة أضعاف منذ عام 2000 - إلى تأثير واضح يتجلى في زيادة تدفق النتروجين إلى نهر الميسيســـيبي الـــذي ينقل الأســـمدة الفائضـــة إلى خليج المكسيك حيث تُحرّض الأسمدة هذه ازدهار الطحالب وتُشـــكّل المناطـــق القاحلة. ويبين تقرير نشـــرته اللجنة العلمية لمشكلات البيئة في الشـــهر 2009/4 (كانت فـــي ذلك الوقت جـــزءا مـــن المجلس العالمـــي للعلـــوم) أن اســـتمرار الأعمال بإنتاج الوقود البيولوجي كما هو جار اليوم، يمكن أن يزيد من مشكلة الاحترار العالمي ومن تهديدات الأمن الغذائي ومن العلل التنفســـية لدى البشر إضافة إلى المشكلات البيئية المألوفة.

كيف ننجز ذلك(*)

تمتلك المجتمعات حاليا عددا متنوعا من الوســـائل التقنية لمعالجة مشكلة النتروجين بفعالية أكبر، محتفظة بالكثير من فوائده وفي الوقت ذاته تقلل إلى حد كبير من مخاطره. أما بالنســـبة إلى التحديات المتعلقة بالطاقة، فإن التحول إلى المزيد من الاســـتعمال المستدام للنتروجين لن يكون سهلا كما أنه لن يتوافر لنا حل ســـحريٌ. أضف إلى ذلك أن معرفة التقانات ليست كافية: فمن دون وجود حوافز اقتصادية وتحوّل في السياســـات سوف لن يكون من المحتمل لأي من هذه الحلول قدرة على معالجة المشكلة.

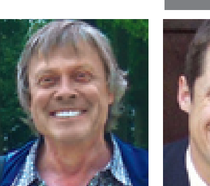
تبين الســـرعة التـــي يزداد بهـــا التلوث بالنتروجـــين في العالـــم، الحاجة إلى وضع قواعد ضبط وتحكم. فقد يكون من الضروري وضـع معايير بيئيـــة أو تقوية الموجود منها، مثل تحديد الحمولات الأعظمية الكلية اليومية المســـموح بدخولها إلـــى المياه الســـطحية وتحديد تراكيز النتروجين التفاعلي المسموح بها في إصدارات الوقود الأحفوري. وتحظى اليوم، في الولايات المتحدة ولدى بعض الأمم الأخرى، متابعة تطبيق السياسات التنظيمية علـــى المســـتويين القومي والمحلـــي ببعض النجاح [انظر: «*إنعاش مناطق ميتة*»، **العلوم**، العـــددان 3/2(2007)، ص 36]. ومهمـــا كان مقدار التغييـــرات في السياســـات اللازمة لإدخـــال الأســـمدة إلى بلـــدان العالم التي تجاوزتهـــا الثورة الخضـــراء، فإن عليها أن تطبق حلولا مســـتدامة من البداية - لتجنب تكـــرار الأخطاء التي ارتكبـــت في الولايات المتحدة وفي غيرها من الدول.

ويمكـــن تحقيـــق التحســـينات الواعدة حتى في غياب القوانـــين التي تتوعد بفرض غرامات مالية على الذيـــن يتجاوزون معايير الإصدارات. ويمكن أن تكون أيضا الوسائل ذات العلاقة بالسوق، مثل الإجازات التجارية، مفيـــدة. وقد ثبت نجاح هذه المقاربة على نحو لافـــت للنظر في مســـألة إصدارات المصانع مـــن ثانـــي أكســـيد الكبريـــت SO_2. ويجري حاليا تبني مقاربات مماثلة للتلوث بأكاســـيد النتروجـــين، إضافة إلـــى البرنامج التجاري لمجموعة أكاســـيد النتروجـــين التابع لوكالة حمايـــة البيئة في الولايـــات المتحدة الذي بدأ في عام 2003. ويمكن بســـهولة توســـيع هذه السياسات لتشمل الأسمدة في المياه الجارية وإصدارات الماشية أيضا - على الرغم من أن مراقبة هذه الأخيرة أصعب بكثير من مراقبة مداخن مصنع للطاقة يعمل بحرق الفحم.

وقد أخذت مقاربات أخرى لحل المشكلة

(*) How to Get It Done

المؤلفان



Alan R. Townsend   Robert W. Howarth

<*تاونسيند*> مدير الإيرادات لبرنامج دراسات البيئة بجامعة كولورادو في مدينة بولدر. وهو أستاذ في المعهد الجامعي لأبحاث القطب الشمالي وجبال الألب، وفي قسم البيولوجيا البيئية والتطورية . يدرس حاليا كيف تؤثر تغيرات المناخ واستغلال الأراضي ودورات التغذية العالمية في الأداء الوظيفي الأساسي للمنظومات البيئية الأرضية. <*هوارث*> هو أستاذ في مؤسسة «ديفيد R. أتكينسون» للبيئة والبيولوجيا البيئية في جامعة كورنيل. يدرس حاليا كيف تغير الأنشطة البشرية المنظومات البيئية مع التأكيد على مواقع المياه العذبة والبحرية (المحلية).

أين يشكل نقص السماد مشكلة(*)

يشكل السماد الاصطناعي، ومازال، ضرورة حاسمة في مواجهة زيادة الطلب العالمي على الغذاء، وبخاصة في المناطق السيئة التغذّي، مثل المناطق الإفريقية شبه الصحراوية أو المجاورة للصحراء، حيث يشكّل استعمال الأسمدة المفرط إحدى الاستراتيجيات الرائدة لتطوير تموين غذائي موثوق به.

ينتج البشر حاليا أكثر مما يلزم من الأسمدة لتوفير الغذاء للعالم بأسره، ولكن التوزيع المتصف بعدم الإنصاف وقلة الكفاءة يعني أن استعمال الأسمدة المفرط يُسبِّب مشكلات في بعض الأماكن، في حين تتخبط المناطق التي ضربها الفقر في مستنقع دورة سوء التغذية. إن توفير السماد الاصطناعي لهؤلاء الذين لا يقدرون على شرائه أدى بوضوح دورا مهما في تحسين أمنهم الغذائي ووضعهم الإنساني ولاسيما في المناطق الريفية الإفريقية المجاورة للصحراء، حيث يعود سوء التغذية الواسع الانتشار مباشرة إلى نضوب الغذاء وتعرية التربة.

يشكل تقديم إعانات السماد إحدى الركائز الأساسية لمشروع القرى الريفية الإفريقية في الألفية الحالية، وهو خطة طموحة لمشروع يفترض أن تتضافر فيه الجهود لتحسين الصحة والتعليم والإنتاج الزراعي في سلسلة من القرى الريفية في جميع إفريقيا. ومنذ بدء العمل بهذا المشروع عام 2004 جرى تبنيه على المستوى الوطني في مالاوي. وقامت مالاوي، بعد عقود من نقص متكرر في الغذاء ومجاعات عديدة، بتقديم إعانات للمزارعين الفقراء تمكنهم من الحصول على السماد الاصطناعي وأنواع البذار المحسنة. وعلى الرغم من أن الأحوال الجوية الجيدة قد أدت دورا مهما، ولكن المقاربة أعطت ثمارها بوضوح. فقد انتقلت مالاوي من دولة تعاني نقصا في الغذاء قدره 43% في عام 2005 إلى دولة لديها فائض قدره 53% في عام 2007.



لا تزال الأسمدة الاصطناعية حيوية في موانداما بمالاوي.

طريقها إلى التطبيق، مثل الاستعمال الأفضل لتصميم الأراضي الطبيعية في المناطق الزراعية، وبخاصة التأكد من أن الحقول المزروعة بالمحاصيل والقريبة من مسطحات مائية ستفصلها عنها أراض رطبة تستطيع تخفيض النتروجين المتسرب إلى المياه السطحية وإلى المحيطات بدرجة كبيرة. وتستطيع المناطق المحمية على ضفاف الأنهار، كتلك التي يرعاها برنامج الحفاظ الاحتياطي الأمريكي[2]، القيام بواجب مضاعف: فهي لن تقوم بخفض التلوث بالنتروجين فحسب، بل ستقوم أيضا بتوفير مواطن مهمة للطيور المهاجرة والعديد من الأنواع الأخرى.

وقد يتطلب تحقيق نجاح كبير إعادة النظر في مسألة الإعانات الزراعية، لاسيما وأن الإعانات التي يقصد بها مكافأة المشرفين البيئيين تستطيع أن تحدث تغييرات سريعة في الممارسات المعيارية. وقد أظهرت تجربة حديثة غير ربحية أجراها الصندوق الأمريكي للأراضي الزراعية إمكانية واعدة لتحقيق النجاح. إذ وافق المزارعون على تخفيض استعمال الأسمدة وتوجيه جزء من التكلفة التي جرى توفيرها جراء شراء سماد أقل إلى صندوق تمويل خاص. وهكذا، يقوم المزارعون الآن بتسميد جميع مزروعاتهم تقريبا وفق معدلات مخفضة، في حين يقومون بتسميد بقع صغيرة بكثافة على سبيل التجربة والمقارنة. فإذا تبين فيما بعد أن محصول تلك البقع قد تجاوز متوسط محصول الحقل كله؛ يُدفع للمزارع الفرق من صندوق التمويل الخاص.

وفي تقريره عن تقديرات النظم البيئية الألفية المنشور عام 2005 بيّن أحدنا <هوارث> أن مثل تلك الدفعات للمزارعين نادرا ما تُطلب، مشيرا إلى التوجه السائد حاليا وهو الميل إلى الإفراط في تسميد العديد من المحاصيل. إذ يستعمل المزارع المتوسط في منطقة زراعة الحبوب الواقعة في أعالي وسط غرب الولايات المتحدة (هذه المنطقة هي مصدر معظم التلوث بالنتروجين

(*) Where Fertilizer *Shortage* Is the Problem
(1) counterpoint ؛ أو العكس.
(2) the U.S. Conservation Reserve Program

الـــذي يســـبب المناطـــق القاحلة فـــي خليج المكســـيك) كمية من الأســـمدة النتروجينية تزيد بنحو 20 إلى 30 في المئة على ما يوصي به موظفو وكالات التوسع الزراعي. وكما كان متوقعا، اســـتعمل المزارعون المشاركون في هذه التجربة وغيرها من التجارب المشـــابهة كميـــات أقل من الســـماد دون أن يؤدي ذلك إلـــى أي نقص في المحصـــول، فوفروا بذلك المال؛ لأن ما دفعوه إلى صندوق التمويل أقل من الوفر الذي حققوه نتيجة شرائهم كميات أقل من السماد. ولذلك، نمت تلك الصناديق دون الحاجة إلى دعم من دافعي الضرائب.

وفـــي نهايـــة الأمر، فـــإن التعليـــم العام الأفضل والخيار الشـــخصي يُؤديان أدوارا حاسمة. فكما بدأ العديد من الأفراد بتخفيض اســـتهلاكهم من الطاقة، يمكن للناس المنتمين إلى مختلف مسالك الحياة تعلم كيف يختارون نمطا حياتيا أقل تكثيفا بالنتروجين.

إن التحســـن الكبيـــر الـــذي قد يحصل للأمريكيين هو جعلهم يأكلون كميات أقل من اللحوم. فإذا قُدّر للأمريكيين أن يتحولوا إلى النظام الغذائي لسكان منطقة البحر الأبيض المتوســـط، الذي يكون فيه معدل اســـتهلاك اللحـــم نحو ســـدس المعـــدلات المعروفة في الولايـــات المتحـــدة فـــي الوقـــت الحاضر، ســـيؤدي ذلـــك ليس إلى تحســـين صحتهم فحســـب وإنما أيضا إلى تخفيض استهلاك البلاد من الأســـمدة إلى النصف. ويمكن أن يؤدي هـــذان التحولان في النظـــام الغذائي والممارســـات الزراعية إلـــى تخفيض تلوث البيئة بالنتروجين وإلى تحسين صحة الناس؛ لأن الممارســـات الزراعية الغنية بالنتروجين في البلاد الغنية تسهم في زيادة البروتين في الأنظمـــة الغذائية غير المتوازنة على الأرجح، وهـــذه بدورها ترتبط بمخاطر صحية تتعلق بأمـــراض القلب ومرض ارتفاع ســـكر الدم والبدانة عند الأطفال.

وكذلك يقدم بعض العون اتخاذ القرارات الشـــخصية القائمـــة على الجهـــد الفردي لتخفيـــض أثـــر الكربـــون – ليـــس فقط من الناحية الصناعية، كما في دعم طاقة الرياح **والمركبـات الهجينـة** hybrid cars، بل ومن الناحية الزراعية أيضا. إن أكل كمية أقل من اللحـــم وتناول الغذاء المنتج محليا وأكل لحم العجول التي تتغذى بالعشب الأخضر وليس بالذرة تســـهم جميعها في معالجة مشكلتي الكربون والنتروجين في آن واحد. وقد لا تحل الخيارات الفردية وحدها المشـــكلات، ولكن التاريـــخ يبين قدرتها على حـــث المجتمعات على التحرك في دروب جديدة. إن التأثيرات المتبادلـــة والمعروفة جيدا بـــين إنتاج الطاقة والمناخ والتي جرى تجاهلها من حيث المبدأ مدة طويلة تظهر الآن في كل مكان، من خطب الرؤســـاء إلى لوحات الإعلانات على جوانب الطرق التي تحض على إقرار مشاريع خطط لوضع نواظم قانونية.

ولســـوء الطالع، فإن مشـــكلة النتروجين أعســـر على الحل من مشكلة الكربون. فعند التفكير في حل المشـــكلة الأخيرة من الممكن التوجه نحو العمل باتجاه مســـتقبل قد تنتج فيه الطاقة دون اســـتعمال الوقود الأحفوري المُصدر لغاز ثاني أكسيد الكربون. ولكن من المســـتحيل تصور عالم تحرر من حاجته إلى إنتاج كميـــات وفيرة من النتروجين التفاعلي. لقد كانت الأســـمدة الاصطناعية، وســـتبقى دائمـــا، القضية الحاســـمة لمواجهـــة زيادة الطلـــب العالمي علـــى الغذاء. ولكـــن، إذا ما حافظنا على مسارنا الحالي نفسه في العمل المؤدي إلى زيادة إنتاج النتروجين، فســـوف نواجه مستقبلا ستُحجب فيه الفائدة العظيمة لاكتشاف <هابر> بتداعياته الكثيرة.

ومع ذلـــك، وكما بيّنا في هذا المقال، فإن مشـــكلات دورة النتروجـــين يمكن تخفيفها كثيرا باللجوء إلى التقانة المعاصرة وبتكلفة يمكن تحملها نســـبيا. إننا قادرون على فعل الأفضل، بل يجـــب علينا فعله، وكذلك علينا فورا بذل الجهود والاســـتمرار ببذلها، لكي نتمكن من تحقيق مســـتقبل يكون فيه إنتاج النتروجين متصفا بالاستدامة. ■

مراجع للاستزادة

Nutrient Management. R. W. Howarth et al. in *Ecosystems and Human Well-Being: Policy Responses*. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, 2005.

Transformation of the Nitrogen Cycle: Recent Trends, Questions, and Potential Solutions. James N. Galloway et al. in *Science,* Vol. 320, pages 889–892; May 16, 2008.

Biofuels: Environmental Consequences and Interactions with Changing Land Use. Edited by R. W. Howarth and S. Bringezu. *Proceedings of the SCOPE International Biofuels Project Rapid Assessment,* Cornell University, April 2009. **http://cip.cornell.edu/biofuels**

Nutrient Imbalances in Agricultural Development. P. M. Vitousek et al. in *Science,* Vol. 324, pages 1519–1520; June 19, 2009.

***Scientific American,* February 2010**

خطة للتغلب على الأمراض المدارية المهملة(*)

لا تقتصر معاناة الفقراء على الفقر وحده، فهم إلى جانب فقرهم يعانون الأمراض المزمنة؛ مما يجعل تخلّصهم من الفقر أكثر صعوبة. وثمّة مبادرة عالمية جديدة يمكن أن تكسر الحلقة المعيبة(1) للفقر والمرض.

<J.P. هوتز>

مفاهيم مفتاحية

- تصيب مجموعة مؤلَّفة من سبعة أمراض مدارية ـ معظمها تسبِّبه ديدان طفيلية ـ بليون شخص من المُنهَكين بسبب الفقر على امتداد العالم. ويندر أن تقتل هذه الأمراض ضحاياها بشكل مباشر، ولكنها تسبِّب لهم البؤس الذي يستمر طيلة حياتهم، حيث تعيق نمو الأطفال، وتحول بين البالغين وبين أداء وظائفهم على الوجه الأكمل، وتزيد من خطر إصابتهم بالأمراض الأخرى.
- لحسن الحظ، من السهل معالجة هذه الأمراض السبعة، وذلك بحبة واحدة في معظم الأحيان. ولكن، على الرغم من تعاون وكالات ومؤسسات مختلفة لتوفير هذه الأدوية، فإنها لم تصل حتى الآن إلاّ إلى نحو 10% فقط من المرضى.
- تعاني الولايات المتحدة الأمريكية حصتها من الأمراض الطفيلية المُهمَلة، حيث يُصاب بها ملايين الفقراء في المدن والأرياف.

محرِّرو ساينتفيك أمريكان

تقع مدينة كومبري في شمال بوركينا فاسو، على مسافة قريبة شرق أحد المقاصد الشهيرة للرحّالين المتجوِّلين في غرب إفريقيا، وهو جرف بانادياگارا في مالي. وكانت هذه المدينة واحدة من الأمكنة التي بدأت فيها وزارة الصحة في بوركينا قبل خمس سنوات حملة شاملة لمعالجة الديدان الطفيلية. وقد أخبر أحد المستفيدين من تلك الحملة ـ وهو صبي يُدعى أبا بكر كان في الثامنة من عمره حينذاك ـ العاملين الصحيين أنه كان يعاني الإعياء والسقم بشكل متواصل مع ملاحظة وجود الدم في بوله، وبعد أن تناول عددا قليلا من الحبوب الدوائية شعر بالتحسُّن، وعاود لعب كرة القدم، وبدأ بالتركيز على واجباته المدرسية فصار أداؤه الدراسي أفضل من السابق.

كان البرنامج الذي نُفِّذ في بوركينا فاسو، والذي عالج ما يزيد على مليوني طفل، بمثابة نجاح يستحق التنويه وفي الوقت نفسه دلالة على الواقع المأساوي لوضع الأمراض في الدول النامية. فبسبب الافتقار إلى معالجات بسيطة للغاية، يستيقظ بليون شخص في العالم صباح كل يوم من أيام حياتهم وهم يشعرون بالمرض، ونتيجة لذلك لا يستطيعون التعلُّم في المدارس ولا العمل على نحو فعّال.

يعتبر معظم الناس في البلدان الغنية أنّ الأمراض المدارية تعني الأمراض الثلاثة الكبيرة التي تشمل: العدوى بڤيروس العوز المناعي البشري HIV (متلازمة العوَز المناعي المكتسب (**الإيدز**) AIDS)، و**السل** tuberculosis، و**الملاريا** malaria، ويتمّ تخصيص ما تقدِّمه الوكالات المموِّلة من مساعدات وفقا لذلك. وفي المقابل، هناك مجموعة من الحالات تعرف على وجه الإجمال بتعبير **الأمراض المدارية المُهمَلة** (**NTDs**)(2) لها أثر أكثر انتشارا من تلك الأمراض الثلاثة الكبيرة. فمع أنّ الأمراض NTDs لا تقتل المصابين بها في معظم الأحيان، إلا أنها تسبب لهم العجز بما تحدثه عندهم من فقر دم شديد وسوء تغذية وتأخر في التطوّر الفكري والمعرفي وفقدان البصر. ويمكن لهذه الأمراض أن تؤدي إلى تشوّه مرعب في الأطراف والأعضاء التناسلية الظاهرة، وإلى عاهات جلدية، كما يمكن أن تزيد خطرَ الإصابة بالڤيروس HIV وخطرَ التعرّض للمضاعفات أثناء الحمل. والأمراض NTDs لا تنجم عن الفقر فحسب فهي أيضا تعمل على ديمومته. إذ تعيق تطوّر الأطفال للوصول إلى كامل قدراتهم

(*) A PLAN TO DEFEAT NEGLECTED TROPICAL DISEASES
(1) vicious cycle ؛ أو الحلقة المفرغة.
(2) neglected tropical diseases



الكامنة، كما يتعذر على البالغين بسببها أن يكونوا منتجين في عملهم بالقدر الذي يمكن أن يبلغوه.

ولا تقتصر الإصابات بهذه الأمراض على الدول النامية، فوفقا لتقديراتي هنالك الملايين من الأمريكيين الذين يعيشون تحت خط الفقر ويعانون أيضا أخماجا (أمراضا معدية) شبيهة بالأمراض NTDs. فثمّة أمراض طفيلية مثل **داء الكيسات المُذَنَّبة** cysticercosis **وداء شاكاس** Chagas disease **وداء المُشَعَّرات** trichomoniasis **وداء السهميّات** toxocariasis، تحدث بتواتر مرتفع في مدننا الأكثر داخلية، وفي القسم الذي يلي كاترينا من ولاية لويزيانا، وفي أجزاء أخرى من دلتا الميسيسيپي، وفي منطقة الحدود مع المكسيك، وفي أپّالاتشيا. [*انظر الإطار في الصفحة 80*].

لقد ابتُلِيَت البشرية بالأمراض NTDs منذ آلاف السنين، فقد وجد المؤرخون أوصافا دقيقة للعديد من هذه الأمراض في نصوص قديمة كثيرة التنوّع تشمل **التوراة** the Bible **والتلمود** the Talmud وكتب **الڤيدا**[1] the Vedas وكتابات **أبُقراط** Hippocrates وأوراق البردي المصرية. إلاّ أنّ الجديد في الأمر هو أنّ المتبرِّعين وصانعي الأدوية ووزارات الصحة في البلدان ذات الدخل المنخفض والمتوسط ومنظمة الصحة العالمية[2] ومؤسَّسات تشاركية بين القطاع العام والقطاع الخاص، تجمِّع جهودها سوية كي تكافح الأمراض NTDs بطريقة أكثر تنسيقا وأكثر منهجية. ففي السنوات الخمس الماضية، تعهّدت كل من مؤسسة **بيل وميليندا گيتس**[3] **وصندوق تمويل التنمية المستدامة في دبي**[4]، إضافة إلى

(١) أربعة كتب مقدسة لدى الهندوس.
(٢) the World Health Organization (WHO)
(٣) the Bill & Melinda Gates Foundation
(٤) the Dubai-based sustainable development fund Legatum

يكفي تناول حبة واحدة من دواء إيڤرمكتين **ivermectin** مرة كل سنة للوقاية من داء العمى النهري. ويخوض العاملون في المجال الصحّي بساحل العاج الآن صراعاً ضد انبعاث حديث لهذا المرض.

[إحصائيات مرضية]

الأمراض السبعة المُريعة(*)

إنّ الأمراض NTDs تشتمل على سبعة أخماج ناجمةٍ عن طفيليات أو جراثيم شائعةٍ في مناطق المُنهكين بسبب الفقر.

المرض	عدد الحالات	العامل المسبِّب	وسيلة الانتقال	آثار المرض ونتائجه
الديدان المدوَّرة (داء الصَّفر)	800 مليون	ديدان الصَّفَر (الأسكاريس) *Ascaris* التي طولها 5-14 بوصة وتعيش في المعى الدقيق (حجمها الحقيقي ظاهر في الصورة)	التربة	■ سوء التغذية وانسداد الأمعاء لدى صغار الأطفال ■ إعاقة نمو الأطفال ■ ضعف الإدراك
الديدان السوطاء (داء المُسَلَّكات)	600 مليون	ديدان المُسَلَّكات *Trichuris* التي طولها 1-2 بوصة وتعيش في القولون (المعى الغليظ)	التربة	■ التهاب القولون ومرض الأمعاء الالتهابي ■ إعاقة نمو الأطفال وضعف إدراكهم
الديدان الشصِّية	600 مليون	*الديدان الفتّاكة Necator* التي طولها 0.5 بوصة وتعيش في المعى الدقيق	التربة	■ فقر دم شديد بعوز الحديد وسوء تغذية بنقص البروتين ■ «الداء الأصفر» (فقر دم) ■ إعاقة نمو الأطفال وضعف تطوّرهم الفكري والإدراكي ■ ارتفاع نسبة الوفيات والمراضة عند الأمهات خلال الحمل
داء المنشقّات (البلهارسيا)	200 مليون	*ديدان* مثقوبات flukes دموية طولها 0.5-1 بوصة تعيش في أوردة الأمعاء أو المثانة	الماء العذب	■ تخرّب البيوض ذات الأشواك المثانة أو الأمعاء أو الكبد. ■ ألم مزمن وفقر دم وسوء تغذية وإعاقة نمو ■ تليّف كبدي ومعوي (بالنسبة إلى *المُنشقّات المنسونية*[٢] واليابانية[٣]) ■ ظهور الدم في البول، مرض كلوي، إصابة الأعضاء التناسلية الأنثوية.
داء الخيطيات (الفيلاريا) اللمفية (داء الفيل) (LF)[١]	120 مليونا	ديدان *الفَخَرية Wuchereria* طولها 2-4 بوصات وتعيش في الأطراف والأثداء والأعضاء التناسلية	البعوض	■ تورّم الساق المصابة ■ تضخم الصفن ■ تشوّهات
داء كُلَّابيَّة الذَّنب	30-40 مليونا	ديدان *كُلَّابيَّة الذَّنب Onchocerca* التي طولها 1-20 بوصة وتعيش في عقيدات تحت الجلد	الذباب الأسود	■ ظهور الخُيَيطيَّات Microfilariae (اليرقات) على الجلد والعينين ■ مرض جلدي بكُلَّابيَّة الذَّنب ■ عمى
الحثَر (التراخوما)	60-80 مليونا	جراثيم المُتَدَثِّرات (الكلاميديا) داخل الخلايا	ضعف التصحّح[٤] (وسائل النظافة العامة)، الذباب المنزلي	■ عمى

الحكومتين الأمريكية والبريطانية، بتقديم مبالغ كبيرة من الأموال لهذا الغرض، كما تبرعت شركات كبرى في مجال الصناعة الدوائية بالأدوية ذات الضرورة العاجلة لمكافحة الأمراض NTDs، وليس ذلك كله إلا بداية المعركة.

ما يشبه العلَق في أمعائك(**)

يصعب استيعاب مدى اتّساع نطاق مشكلة الأمراض NTDs ودرجة أهميتها على الصعيد العالمي، فتقريبا كلّ شخص معوز يعيش في إفريقيا جنوب الصحراء الكبرى أو في جنوب شرق آسيا أو في أمريكا اللاتينية هو مخموجٌ بواحد أو أكثر من هذه الأمراض. وهذه الاعتلالات تستمر سنوات وعقودا من الزمن، بل في معظم الأحيان طيلة الحياة. وتُحدث الأمراض السبعة الأكثر شيوعا بين الأمراض NTDs الجزء الأعظم من تأثيراتها المدمِّرة.

وتنجم ثلاثةٌ من تلك الأمراض السبعة عن طفيليات دودية تعيش في الأمعاء وتُدعى أيضا **بالديدان** helminths. فتصيب **الديدان المدوَّرة** roundworm الشائعة بشكل واسع التي تسبِّب **داء الصَّفر (الأسكاريس)** ascariasis 800 مليون شخص، في حين تصيب **الديدان السوطاء** whipworm التي تسبب **داء المُسَلَّكات** trichuriasis 600 مليون شخص، وتسرق هذه الديدان المواد المغذِّية من

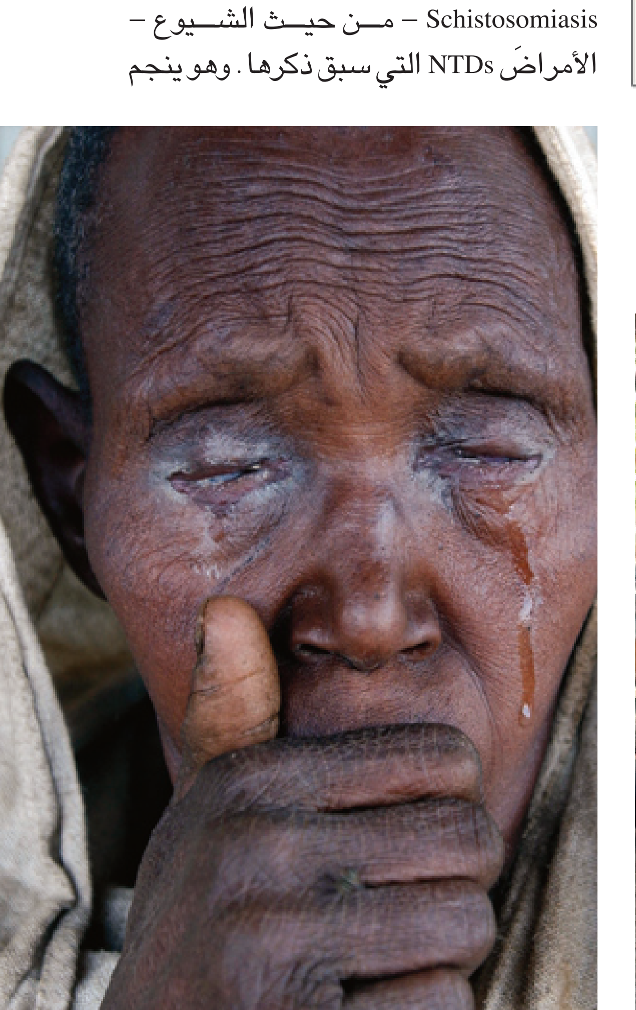
(*) THE GRISLY SEVEN
(**) Like Leeches in Your Gut
(١) Lymphatic filariasis
(٢) *Schistosoma mansoni*
(٣) *S. japonicum*
(٤) hygiene: المحافظة على الصحة باتباع القواعد الصحية.

مناطق التوطّن	المعالجة	البرامج الرئيسية للسيطرة على المرض
آسيا وإفريقيا وأمريكا	ألبِندازول **Albendazole**، ميبِندازول **mebendazole**	منظمة الصحة العالمية، برنامج أطفال من دون ديدان، برنامج تخليص العالم من الديدان
آسيا وإفريقيا وأمريكا	ألبِندازول، ميبِندازول	منظمة الصحة العالمية، برنامج أطفال من دون ديدان، برنامج تخليص العالم من الديدان
آسيا وإفريقيا وأمريكا	ألبِندازول، ميبِندازول	منظمة الصحة العالمية، برنامج أطفال من دون ديدان، برنامج تخليص العالم من الديدان، معهد سابين للقاحات
معظم الحالات في إفريقيا، بقايا منها في البرازيل وشرق آسيا والشرق الأوسط	برازيكوانتيل **Praziquantel**	مبادرة السيطرة على داء المُنشَقَّات
آسيا وإفريقيا وأمريكا	إيڤرمكتين أو ثاني إيثيل كاربامازين وألبِندازول	البرنامج العالمي للقضاء على الداء **LF**، مركز مساندة المصابين بالداء **LF**، مركز كارتر
معظم الحالات في إفريقيا، وبعضها في بلدان أمريكا اللاتينية	إيڤرمكتين	البرنامج الأفريقي للسيطرة على داء كلّابيّة الذنب، مركز كارتر، برنامج التبّرع بالمِكتيزان **Mectizan**
آسيا وإفريقيا وأمريكا	آزيثرومايسين؛ تطبيق استراتيجية **SAFE**: جراحة بسيطة، إعطاء مضادات حيوية، غسل الوجه، تصحيح أوضاع البيئة	المبادرة الدولية لمكافحة التراخوما، مركز كارتر، منظمة هيلين كيلر الدولية، برنامج منقذي النظر، برنامج الإرسالية المسيحية للمكفوفين

الأطفال فتعيق نموهم. والأسوأ من ذلك هو الإصابة **بالديدان الشـصِّية** hookworms التي نصادفها عند 600 مليون شـخص، إذ تلتصق هذه الديدان التي لا يزيد طول الواحدة منها على نصف البوصة الواحدة بالوجه الداخلي لبطانة الأمعاء الدقيقة، وتمتصّ منها الدم كما لو كانت علَقَة موجودة داخل جسم الإنسان. وبعد مضي فترة من الزمن قد تمتدّ إلى شهور أو سنوات، تؤدي هذه الديدان إلى حدوث درجة شديدة من فقر الدم بعوز الحديد ومن سوء التغذية بنقص البروتين. ويكون لدى الأطفال المصابين بفقر دم مزمن ناجم عن الديدان الشصِّية بشرةٌ شاحبة اللون توحي بالمرض، كما يعانون صعوبات في التعلم بالمدرسة. ويصاب كذلك أكثر من 40 مليون امرأة حامل بخمج الديدان الشصِّية التي تجعلهن معرَّضات للخطر في حال معاناتهن أيضا مرض الملاريا أو حين فقدان كميات إضافية من الدم أثناء الولادة. أمّا أطفالهن، فيولدون بأوزان منخفضة [انظر: «*خمج الدودة الشصِّية*»، **العلوم**، العدد 2(1996)، ص 29].

يلي **داءُ المنشَقَّات (البلهارسيا)** Schistosomiasis – من حيث الشيوع – الأمراضَ NTDs التي سبق ذكرها. وهو ينجم

داء الفيل elephantiasis (*الصورة في الأسفل إلى اليمين من هاييتي*)، والعمى (*الصورة في اليسار من إثيوبيا*) هما من أكثر عواقب الأمراض NTDs مشاهدة.



عن طفيليات من جنس الديدان المثقوبات تُعرَف **بالمُنْشَقَّات** schistosomes، تعيش في الأوردة التي تنزح الدم من الأمعاء أو المثانة. وتحدث أكثر من 90% من حالات الإصابة بداء المنشَقَّات التي يبلغ عددها 200 مليون حالة في البلدان الواقعة جنوب الصحراء الكبرى الإفريقية، إلى جانب بضعة ملايين من الحالات في البرازيل وفي عدة بلدان أخرى. تُطلِق المُنْشَقَّات الإناث بيوضا مُزوَّدة برماح دقيقة تغزو الأعضاء المجاورة وتؤدي إلى تخريبها، وتشمل هذه الأعضاء إمّا الأمعاء والكبد أو المثانة والكليتين، وذلك حسب نوع الطفيلي. ونتيجة للأمر السابق، يطرح نحو مئة مليون من الأطفال في سن المدرسة ومن صغار البالغين الدم مع البول أو مع البراز بشكل يومي، ويؤدي الالتهاب المرافق إلى الألم وسوء التغذية وإعاقة النمو وفقر الدم. ولدى النساء تتوضع بيوض المُنْشَقَّات في عنق الرحم والمهبل، لتسبِّب لهن ألما رهيبا أثناء الممارسات الجنسية مع مضاعفة خطر العدوى بالڤيروس HIV ثلاث مرات [انظر: «*البلهارسيا ومكافحة ديدانها القاتلة*»، **العلوم**، العددان 11/10(2008)، ص 64].

هناك دودتان أخريان يُعتبَر الخمج بهما مهما، هما: **داء الخيطيات (داء الفيلاريا) اللمفية** LF **وداء كُلاَّبِيَّة الذَّنَب** onchocerciasis. تعيش الديدان التي تسبب الداء LF في الأطراف أو في الثديين أو في الأعضاء التناسلية الظاهرة لدى 120 مليون شخص في آسيا وإفريقيا وهاييتي؛ حيث تؤدي إلى إصابتهم **بداء الفيل** elephantiasis، وهو حالة من التشوه الجسيم تمنع البالغين من العمل، وتحول بين النساء - بشكل خاص - وبين الزواج أو تدفع أزواجهن إلى هجرهن. أمّا داء كُلاَّبيَّة الذنب أو **العمى النهري** river blindness فيسبب، لدى البالغين في منتصف العمر، مرضا جلديا رهيبا يتّسم بالحكّة والتشوّه إلى جانب العمى، وتحدث جميع

(*) Horrors of the Kissing Bug

[الأخماج الطفيلية في الولايات المتحدة الأمريكية]

خوفٌ مرعبٌ تثيره حشرة البقّ المقبِّل(*)

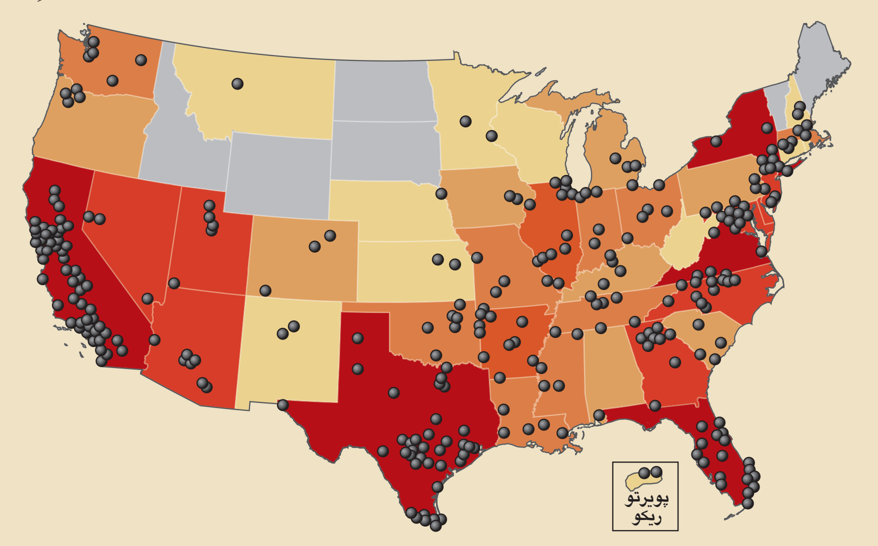
تعاني الولايات المتحدة الأمريكية أيضا معدلات مرتفعة لحدوث الأمراض الطفيلية التي يُطلَق عليها هنا اسم الأمراض الخمجية المهملة الناجمة عن الفقر، وهي تشبه إلى حدٍّ بعيد الأمراض NTDs، وتُصادَف بشكل رئيسي في مناطق تعاني الفقر المدقع. وهذه الأمراض تصيب الأمريكيين من أصل إفريقي والأمريكيين من أصل لاتيني بمعدَّل أعلى من بقية السكان، بسبب ارتفاع نسبة الفقراء ومَن يعيشون تحت وطأة ظروف بالغة القسوة ضمن هذه المجموعات السكانية.

وفي دلتا الميسيسيبي والقسم الذي يلي كاترينا من ولاية لويزيانا ومناطق أخرى من الجنوب الأمريكي إضافة إلى المدن الأكثر داخلية، يُقدَّر أنّ ثلاثة ملايين أمريكي من أصل إفريقي مصابون في الوقت الحاضر أو أصيبوا سابقاً بخمج تسبِّبه الديدان يُعرَف باسم داء السهميات. وتوجد بيوض هذه الديدان في التربة أو في الرمال المختلطة ببراز الكلاب، حيث يمكنها أن تلوِّث الأطعمة. وما أن تفقس بيوض الديدان في السبيل الهضمي، حتى تهاجر اليرقات المتحررة من البيوض عبر الرئتين والكبد والدماغ، فتؤدي بسبب ذلك إلى حدوث الوزيز والنوبات الصرعية وإعاقة النمو والتطوّر. وبين الأمراض الطفيلية السابقة هناك خمج آخر يُدعى داء المُشَعِّرات، وهو مرض ينتقل جنسياً تسببه **طفيليات من الأوالي** protozoan parasites، ويؤدي إلى حدوث التهاب في عنق الرحم ونزوف منه. وهذا المرض يزيد من خطر الإصابة بأمراض إضافية تنتقل جنسياً، ومن الممكن أن تتضمَّن هذه الأمراضُ الإضافية الخمجَ بالڤيروس HIV (الإيدز).

وينتشر بين الأمريكيين من أصل لاتيني مرضان خمجيان مهمّان ناجمان عن الفقر، وهما: داء شاكاس وداء الكيسات المُذَنَّبة. ينجم داء شاكاس عن طفيلي من **الأوالي المثقبية** trypanosome protozoan يصيب الناس إثر تعرضهم للسعات حشرة **البقّ المقبِّل** kissing bug، وهذه الحشرة هي نمط من **بقّ الحشاشين** assassin bug أو الفسفس، وهي حشرة تشبه الصرصور (*الصورة في الأعلى*) يغلب أن تعيش في المنازل المتهدمة التي ترتع فيها الجرذان. ويمكن أن يحدث الطفيلي المسبِّب لداء شاكاس توسّعاً شديداً في القلب، ومن ثَمّ يمكن أن يكون قاتلا. ويُقدَّر عدد المصابين بهذا الداء في الولايات المتحدة الأمريكية بـ 000 300 شخص. أمّا داء الكيسات المُذَنَّبة، فهو مرض خمجي ينجم عن دودة طفيلية تصيب ما يقرب من 000 170 شخص، وهو يأتي على رأس قائمة أسباب النوبات الصرعية في المدن القريبة من الحدود المكسيكية.

إنّ معظم الأمراض الخمجية السابقة لم تدخل إلى الولايات المتحدة الأمريكية من خلال الهجرة، بل هي في غالبيتها أمراض مستمرة بسبب انتقال العدوى ضمن المناطق الموجودة داخل حدود الولايات المتحدة. وعلى الرغم من الانتشار الواسع لهذه الأمراض، فإنّ الأبحاث التي تُجرى على حالات الإصابة بها محدودة إلى حد كبير، ولا يعرف المسؤولون في المجال الصحّي العدد الدقيق للأشخاص المصابين بهذه الأخماج؛ ولا السببُ الذي يجعل الفقر من عوامل الخطورة فيها. إضافةً إلى ذلك، لا تزال الوسائل التشخيصية والطرق العلاجية هنا بدائية وغير متطوِّرة بشكل ملحوظ.

<*J. P*. هوتز>



توزع المتبرعين بالدم الذين تبينت إيجابية داء شاكاس لديهم بين عامي 2007-2009 حسب الولايات.

2-1 | 4-3 | 10-5 | 69-11 | 375-70 | البيانات غير متوفرة

مواقع الحالات المؤكدة

المصدر: اتحاد بنوك الدم الأمريكية (AABB)

يصيب داء شاكاس عددا يقدر بـ000 300 شخص في الولايات المتحدة الأمريكية. وقد أظهرت نتائج المسح التي أجريت على المتبرعين بالدم اعتبارا من 2007، أن الحالات تتركز في المناطق التي تحوي أعدادا كبيرة من المهاجرين من أمريكا اللاتينية الذين يعيشون في مساكن لا تتوفر فيها الشروط المعيارية للمنازل.

حالاته تقريبا والتي يتراوح عددها بين 30 و40 مليونا في إفريقيا، ويُستثنى من ذلك مواقع محدودة نجدها في الأمريكتين وفي اليمن.

والمرض السابع المهم من الأمراض NTDs هو **الحَثَر (التراخوما)** trachoma، وهو داء لا ينجم عن ديدان طفيلية بل عن خمج جرثومي تسبّبه كائنات حية مجهرية تُدعى ***المُتَدَثِّرات (الكلاميديا)*** *Chlamydia*. ونظرا لكونه يصيب 60 إلى 80 مليون شخص، فهو يحتل المرتبة الأولى بين الأسباب الخمجية للعمى [انظر: «*هل يمكن إيقاف الكلاميديا؟*»، **العلوم**، العددان 7/8(2005)، ص 30].

وفي سلسلة من الأبحاث حول السياسات العامة، درستُ مع زملائي آثار الأمراض NTDs السبعة وتبعاتها، فوجدنا أنّ الأضرار الصحية الإجمالية لها على المستوى العالمي - إذا قيست بعدد سنوات العمر الضائعة بسبب العجز الناجم عن فقدان الصحة - تعادل تقريبا ما يسببه خمج الفيروس HIV أو مرض الملاريا. ونتيجة للحصيلة المفجعة من الخسائر التي تخلفها في مجالات تعليم الأطفال وتطوّرهم والحمل لدى النساء والمردودية الإنتاجية لدى العمال الزراعيين، فإنّ هذه الأمراض NTDs تُعتَبر من الأسباب الرئيسية للفقر. وقد وجدت إحدى الدراسات الجديرة بالتحليل والتمعّن قام بها <H. بليكلي> [وهو عالم اقتصادي يهتم بالتنمية] أنّ الخمج المزمن بالديدان الشصِّية في مرحلة الطفولة ينقص من قدرة الشخص على كسب الرزق على امتداد فترة حياته بمقدار يزيد على 40%. كذلك قدَّر <D. K. رامايا> وباحثون آخرون في الهند، أنّ أكثر من 800 مليون دولار تضيع سنويا بسبب نقص إنتاجية العمال الناجم عن الداء LF. بينما وجدت دراساتٌ أخرى تأثيراتٍ مشابهة يحدثها داء كُلابِيَّة الذَّنَب والحَثَر.

شفاء المرضى بواسطة الملح(*)

إنّ الأنباء الجيدة فيما يخصّ الأمراض NTDs هي أنه من الممكن معالجتها - وحتى اتّقاء الإصابة بها - ببساطة وبتكلفة زهيدة [*انظر الجدول في الصفحتين 78 و 79*]، إذ يكفي لذلك تناول حبة واحدة في كثير من الحالات. وتتمتع الأدوية المتوافرة بسجل ممتاز من ناحية السلامة والأمان، كما أنّ كلّ صنف منها إمّا يُقدَّم مجانا من قبل شركات متعددة الجنسيات، أو يتوفَّر تحت الاسم العام الأصلي (ليس تحت اسم مسجَّل كعلامة تجارية)؛ وهذا يجعله رخيصا يكلِّف أقلَّ من 10 سنتات لكل حبة.

وفي مطلع القرن العشرين، تكفَّل <J. D. روكفلر> برعاية برنامج شامل لتقديم الأدوية بشكل جماعي بغرض السيطرة على الخمج بالديدان في جنوب أمريكا، كما انطلقت حينها مشاريع مشابهة في منطقة البحر الكاريبي. وخلال خمسينات وستينات القرن العشرين بدأ العديد من المتخصصين بطب الأمراض المدارية بالعمل في برامج تتعلَّق بأخماج أخرى وفي أماكن مغايرة، وكان من بينهم <F. هوكِنگ> [والد العالِم الفيزيائي

كيف تقدم المساعدة(**)

تمثِّل الأمراض NTDs تحديا ضخما، لكن لمّا كانت تكاليف المعالجة زهيدة للغاية، فإنهّ بمقدور المجهودات الفردية أن تحدث تأثيرات مهمّة. وقد تطوَّع طيفٌ واسع من المشاهير امتدّ من الرئيس الأمريكي السابق <بيل كلينتون> إلى الممثلة <أليسا ميلانو> لتقديم الوقت والمساندة إلى الشبكة العالمية لمكافحة الأمراض NTDs.



<أليسا ميلانو>

إحدى الخطوات التي يمكنك اتخاذها هي الانضمام إلى حملة الـ 50 سنتاً فقط، وهي حملة موجَّهة إلى عامة الناس تقودها الشبكة العالمية لمكافحة الأمراض NTDs(1) بغرض جمع التبرّعات ورفع سوية الوعي. فالتبرّع بمبلغ زهيد مقداره 50 سنتاً فقط يمكن أن يوفّر لأحد الأشخاص الأدويةَ اللازمة لعلاج الأمراض NTDs السبعة الأكثر شيوعاً لمدة سنة كاملة. لمزيد من المعلومات يمكنك زيارة الموقع التالي: ***www.globalnetwork.org/just50cents***

(*) Curing the Sick with Salt
(**) HOW TO HELP
(1) the Global Network for NTDs

الشهير <S. هوكِنگ>] الذي نشر عام 1967 نتائج دراسة أجريت في البرازيل عالج فيها الداء LF بإضافة مادة ثاني إيثيل كاربامازين إلى ملح الطعام. وفي عام 1988، أطلقت شركة ميرك ومرافقاتها Merk & Co. واحدة من أولى المؤسسات التشاركية بين القطاعَين العام والخاص، وكانت تهدف إلى المعالجة الشاملة الجماعية لداء العمى النهري. ومنذ ذلك الحين تمَّ إنشاء مؤسّسات تشاركية عديدة من هذا النوع، وصارت خدماتها تصل في وقتنا الحاضر إلى عشرات الملايين من الناس كل عام.

من خلال تأمين وصول علاجات زهيدة الثمن إلى المرضى، استطاعت هذه المؤسسات التشاركية ـ بالتعاون مع منظمة الصحة العالمية ووزارات الصحة في البلدان ذات الدخل المنخفض وعدة شركات متعددة الجنسيات لصناعة الأدوية ـ أن تسيطر على انتشار داء العمى النهري أو تزيله تماما في أحد عشر بلدا إفريقيا، وسمح هذا للفلاحين بأن يعودوا إلى أراضيهم الصالحة للزراعة التي هجروها بسبب ارتفاع معدل العمى في أوساطهم. وبشكل مشابه قضت برامج المعالجة على الداءٍ LF في أكثر من اثني عشر بلدا كان متوطنا فيها سابقا، وأنقصت معدّل انتشار داء المنشَقَّات بمقدار وصل إلى 80% في ثمانية بلدان إفريقية. وإذا أخذنا بعين الاعتبار وجهة النظر المالية البحتة، فإنّ معدلات العائدات الذاتية لهذه البرامج كانت مرتفعة إلى درجة وصلت حتى 30%.

حبة واحدة تشفيهم جميعا(*)

وعلى الرغم من إحراز جميع هذه النجاحات الهائلة، لا زال الطريق أمامنا طويلا حتى يتمّ تأمين كامل الأدوية اللازمة لبليون شخص أو أكثر مصابين بالأمراض NTDs. فحسب تقديرات منظمة الصحة العالمية لا توصل البرامجُ الحالية المعالجةَ المناسبة إلا إلى أقل من 10% من الأشخاص الذين يعانون الأخماج المعوية أو داء المنشَقَّات.

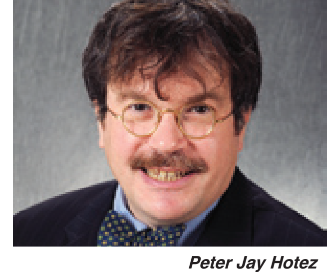
إنّ جزءا من الحلّ الضروري يكمن في استخدام وسائل تقانية وأساليب تنظيمية أفضل من المستعملة حاليا، وقد درست منظمة الصحة العالمية بالاشتراك مع منظمات أخرى الإعطاءَ المتزامن لعدة أدوية مضادة للأمراض NTDs معا، وهم يغيّرون طريقة عملهم بسرعة بحيث يتمّ تأمين هذه الأدوية على شكل رزمة واحدة (يُشار إليها أحيانا باسم رزمة التأثير السريع) يمكن أن يكون سعرها زهيدا بحيث لا تكلّف أكثر من 50 سنتا في السنة، وبدأت بعض البلدان الإفريقية بالفعل بدمج برامج كانت تستهدف بشكل منفرد أمراضا مدارية مُهملة ضمن برنامج واحد متكامل. إنّ أسلوب التجميع هذا يؤدي إلى إنقاص التكاليف وإلى تخفيف الحمل عن منظمات تقديم الخدمات الصحية المثقلة بالأعباء أصلا، هذا إلى جانب توفير فرصة لتقديم مساعدات أخرى مثل توزيع الناموسيات لمكافحة الملاريا وإعطاء اللقاحات والمكمِّلات الغذائية كالڤيتامين A للأطفال.

وعلى الرغم من أنّ دمج برامج السيطرة على الأمراض NTDs وتوحيدها كان ناجحا إلى حد بعيد حتى الآن، فقد واجهته بعض التحديات الميدانية التي شملت فرض أعباء إضافية على العاملين في توزيع الأدوية، ونقص الكمية المتوفّرة من بعض الأدوية المضادة للأمراض NTDs في أماكن معيّنة. كما كان على العاملين الصحيين أن يظهروا منتهى الحرص والانتباه من أجل كشف أية علامات دالة على حدوث مقاومة دوائية.

في نهاية المطاف، ستحتاج برامج السيطرة على الأمراض NTDs هذه إلى المزيد من الأموال. وقد تعهَّدت حكومتا الولايات المتحدة الأمريكية وبريطانيا بتقديم ما يزيد على 400 مليون دولار خلال السنوات

(*) One Pill to Cure Them All

المؤلف



Peter Jay Hotez

بدأ الاهتمام بالطب منذ سن الطفولة، وذلك مُذ قرأ كتاب <P. دي كريف> الكلاسيكي «صائدو المكروبات» «Microbe Hunters»، وطلب إلى والديه حينئذ شراء مجهر (ميكروسكوب) له. وقد واصل سعيه بعد ذلك حتى حصل على دكتوراه في الفلسفة ودكتوراه في الطب مختصّ بعلم الطفيليات، وهو يرأس في الوقت الحاضر قسم الميكروبيولوجيا (علم الأحياء الميكروية) وعلم المناعة والطب المداري في جامعة جورج واشنطن، كما أنه رئيس معهد سابين للّقاحات وعضو في المعهد الطبي للأكاديميات الوطنية للعلوم وأحد المشاركين في تأسيس الشبكة العالمية لمكافحة الأمراض NTDs.

القليلة القادمة بغرض دعم البرامج المتكاملة للسيطرة على الأمراض NTDs، بينما تشير التقديرات إلى أنّ السيطرة على الأمراض NTDs في الدول الست والخمسين التي تُعتَبر متوطنة فيها ستحتاج من بليونين إلى ثلاثة بلايين من الدولارات الأمريكية خلال السنوات الخمس أو السبع القادمة. ولضمان تحسين وضع مسألة التمويل تجمَّعت بعض المؤسّسات التشاركية بين القطاعَين العام والخاص الرئيسية في عام 2006 لتشكيل الشبكة العالمية لمكافحة الأمراض NTDs التي أخذت تعمل بتعاون وثيق مع منظمة الصحة العالمية ومكاتبها الإقليمية. وتتلقّى هذه الشبكة التي اتّخذت مقرا لها في **معهد سابين للّقاحات**[١] الدعمَ من مؤسسة گيتس ومن متبرِّعين آخرين في القطاع الخاص، وتعمل على مساندة برامج معالجة الأمراض NTDs في جميع أرجاء العالم من خلال تقديم العون في مجالات الحملات الدعائية ورسم السياسات العامة والتزويد بالإمدادات اللوجستية.

وقد أنشأ معهدُ سابين للقاحات كذلك مؤسّسةً تشاركية دولية لإعداد المنتجات وتطويرها من أجل إنتاج لقاحات جديدة مضادّة للخمج بالديدان الشصِّية ولداء المنشقَّات. ووصل تطوير اللقاح المضادّ للديدان الشصِّية في الوقت الحاضر إلى مرحلة الدراسات السريرية (الإكلينيكية)، ويُعتبَر ذلك من الأنباء السارة نظرا للمخاوف التي أثارتها ملاحظة أنَّ أحد الأدوية المستخدمة في الوقت الحاضر في المعالجات الجماعية الشاملة أخذ يبدي معدلات فشل مرتفعة، حيث يُعَدُّ هذا الأمر علامة على أنّ الطفيلي قد صار مقاوما للأدوية. ويعمل معهد سابين بالتعاون مع طيف واسع من معاهد الأبحاث والتطوير في البرازيل وكذلك مع الحكومة البرازيلية، حيث تعاني البرازيل أكبر عدد من حالات الخمج بهذه الديدان في الأمريكتين؛ وقد انتقل هذا المرض من المناطق المتوطن فيها والكائنة في غرب إفريقيا إلى البرازيل عبر تجارة الرقيق، وهذا يجعله أثرا حيًّا من بقايا عهد العبودية.

ويبقى السؤال: إذا كانت ضرورة مكافحة الأمراض NTDs على هذا القدر من الوضوح وكان تحقيقها رخيص التكاليف إلى هذه الدرجة، فَلِمَ لزم مرور كل هذا الوقت الطويل قبل التصرف بطريقة منهجية منظَّمة في هذا المجال؟ في الحقيقة تصعب الإجابة عن هذا السؤال. ففي البرنامج الذي أطلق عام 2000 باسم **أهداف التنمية في الألفية من أجل إنقاص الفقر بشكلٍ قابل للدوام**[٢] وُضِعَت الأمراض NTDs بمجملها ضمن بند «أمراض أخرى،» ومن الواضح أنه من الصعب أن تجعل الناس تكترث بشيء يوصف بعبارة «أمراض أخرى.» إضافة إلى ذلك، تؤدّي الأمراض NTDs إلى حدوث العجز أكثر ممّا تفضي إلى الموت، لذلك اختارت كبار البلدان المانحة للمساعدات التركيزَ بشكل رئيسي على الخمج بالڤيروس HIV والسل والملاريا، وهي أمراض تميت المصابين بها إذا لم يُعالجوا. وقد اعتبرت برامجُ أخرى للتنمية أنّ الأمراض NTDs هي بمثابة أعراض ظاهرية أكثر منها علل حقيقية، لذلك فضَّلت التركيز على ما رأته المشكلات المستبطنة الكامنة خلف تلك الأمراض مثل سوء الصرف الصحي (الإصحاح) ونقص مصادر المياه النظيفة والفقر على وجه الإجمال. وجميع هذه الأهداف والمقاصد نبيلةٌ وتستحق الثناء والتشجيع، ولكنّ الحقيقة المستمدّة من تجارب الحياة الواقعية تؤكِّد أنّ الأدوية التي تُعالَج بها الأمراض NTDs هي أفضل طريقة منفردة من ناحية مقارنة المردود بالتكلفة في مجال تحسين الوضع الصحّي والتعليمي وتحقيق الرفاهية والخير لفقراء العالَم في الوقت الراهن. ■

(١) The Sabin Vaccine Institute

(٢) the Millennium Development Goals for sustainable reduction of poverty

مراجع للاستزادة

Control of Bancroftian Filariasis by Cooking Salt Medicated with Diethylcarbamazine. Frank Hawking and Ruy João Marques in *Bulletin of the World Health Organization*, Vol. 37, No. 3, pages 405–414; 1967. Available online at **www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2554262**

Forgotten People, Forgotten Diseases: The Neglected Tropical Diseases and Their Impact on Global Health and Development. Peter J. Hotez. ASM Press, 2008.

Rescuing the Bottom Billion through Control of Neglected Tropical Diseases. Peter J. Hotez et al. in *Lancet*, Vol. 373, No. 9674, pages 1570–1575; May 2, 2009. Available online at **tinyurl.com/yh5qbeq**

Scientific American, January 2010

الزراعة في المستقبل: عودة إلى الجذور؟(*)

قد تصبح الزراعة على نطاق واسع أكثر استدامة إذا عاشت نباتات المحاصيل الرئيسية لسنوات وابتنت مجموعات جذرية عميقة.

<J. D. كلوڤر> ـ <M. C. كوكس> ـ <J. P. رِگانولد>



حقائق مفتاحية

- إن استخدام الأراضي المكثف لصالح الزراعة يدمر التنوُّع الحيوي الطبيعي والنظم البيئية. وفي هذه الأثناء سيزداد تعداد السكان في العالم إلى ما بين ثمانية وعشرة بلايين في عقود السنين المقبلة، بحيث يتطلب الأمر استصلاح المزيد من الأفدنة.
- إن استبدال محاصيل الفصل الواحد بمحاصيل معمِّرة قد يؤدي إلى تكوين مجموعات جذرية كبيرة قادرة على حفظ التربة، وقد يسمح بالزراعة في المناطق التي تعتبر اليوم مناطق هامشية.
- صحيح أن التحدي هائل، ولكن إذا نجح العلماء فإن هذا الإنجاز سيضارع التدجين (الاستئناس) domestication البشري الأصلي لمحاصيل الغذاء على مدى عشرات آلاف السنين الماضية، وسيكون ثوريا بالقدر نفسه.

محررو ساينتفيك أمريكان

تشير الموازين المنزلية، بالنسبة إلى العديد منا في مناطق البحبوبة، إلى أننا نحصل من الدخل على مايفوق حاجتنا إلى الأكل ، مما يجعل البعض يعتقد أنه من اليسير، وربما اليسير جدا، على المزارعين إنماء طعامنا. وعلى النقيض من ذلك، تتطلب الزراعة الحديثة مساحات شاسعة من الأرض، إضافة إلى الإمدادات المستمرة من الماء والطاقة والمواد الكيميائية. وبملاحظة هذه المتطلبات من الموارد، أشار التقييم الألفي للمنظومات البيئية في عام 2005، والمدعوم من قبل الأمم المتحدة إلى إمكانية أن تكون الزراعة هي «التهديد الأكبر للتنوع الحيوي **ووظيفة النظم البيئية** ecosystem function لأي نشاط بشري بمفرده.»

في الوقت الحاضر، يأتي معظم غذاء البشرية بشكل مباشر أو غير مباشر (كعلف الحيوانات) من غلّات الحبوب والبقول والبذور الزيتية. وتعد هذه المقوِّمات الأساسية جذابة للمنتجين والمستهلكين لأنها سهلة النقل والتخزين وطويلة البقاء نسبيا وغنية بعض الشيء بالپروتين **والكالوريات (السعرات الحرارية)** calories. ونتيجة لذلك، تشغل مثل هذه المحاصيل نحو 80 في المئة من الأراضي الزراعية العالمية. بيد أنها جميعا نباتات حولية، بمعنى أنها يجب أن تنمّى مجددًا من الحبوب في كل عام، وذلك باستخدام طرائق **الفلاحة المكثفة للموارد** resource–intensive cultivation. والأكثر إزعاجا هو أن **التدهور** degradation البيئي الذي تُسبِّبه الزراعة يحتمل أن يزداد سوءا طالما أن تعداد البشر الجياع سيزداد إلى ثمانية أو عشرة بلايين نسمة في عقود السنوات القادمة.

وهذا هو السبب وراء محاولة عدد من مربّي النبات وعلماء المحاصيل والإيكولوجيين تطوير منظومات لمحاصيل الحبوب يكون بمقدورها أن تعمل على نحو أشبه مايكون بالنظم البيئية الطبيعية التي تحل محلها الزراعات. أما مفتاح نجاحنا الجماعي؛ فإنه يتمثّل بتحويل محاصيل الحبوب الرئيسة إلى نباتات **معمِّرة** perennials تستطيع أن تعيش سنوات عديدة. ونشير هنا إلى أن الفكرة، التي تعود إلى عقود من السنين، قد يستغرق تحقيقها مزيدا من العقود؛ بيد أن تقدما ملموسا في علم تربية النباتات أخذ يقرب هذا الهدف ليجعله أخيرا في المدى المنظور.

جذور المشكلة(**)

إن معظم المزارعين والمبتدعين والعلماء الذين مارسوا العمل في حقول المزارع وهم يتخيلون كيفية التغلب على مصاعب الفلاحة ربما رأوا الزراعة بعدسة نجاحاتها وإخفاقاتها المعاصرة. أما عالِم الوراثة النباتية في كنساس <W. جاكسون>؛ فقد سلك في السبعينات من القرن الماضي خطوة عشرة آلاف سنة في أعماق الماضي ليقارن الزراعة بالنظم البيئية الطبيعية التي سبقتها.

(*) FUTURE FARMING: A RETURN TO ROOTS?
(**) Roots of the Problem

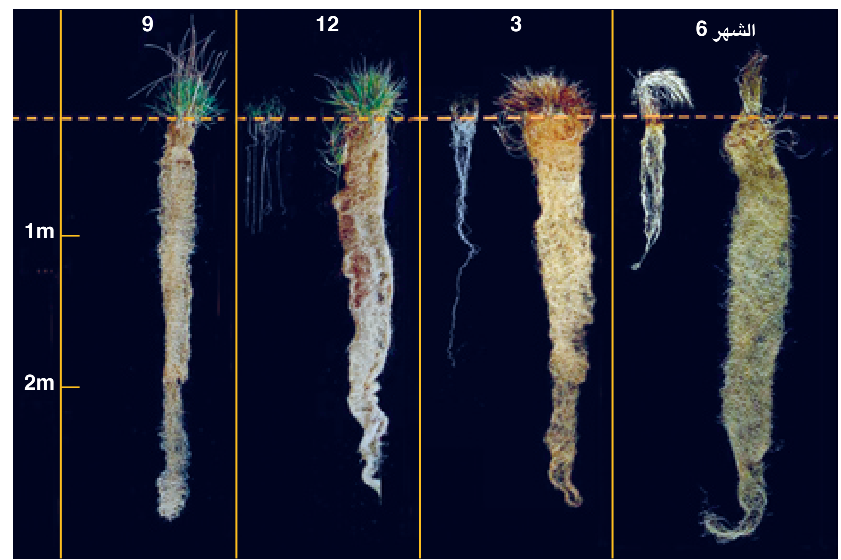


تعتمد المحاصيل الغذائية العصرية بشكل كبير على الري ومدخلات بشرية أخرى تستنزف الأرض وتلوِّث البيئات المحيطة. ويمكن إلى حدٍّ ما مواجهة ذلك بتطوير نسخ من نباتات معمِّرة مثل الهجين التجريبي للعكرش wheatgrass الانتقالي والحنطة المعروضة *في الصفحة المقابلة.*

فقبل قيام البشر بتعزيز وفرة النباتات **الحولية** annuals من خلال تدجين الحيوانات والزراعة، كانت خلائط النباتات المعمِّرة تسود جميع المسطّحات على كوكب الأرض، وذلك على غرار ما هي عليه الآن في المناطق **غير المفلوحة** uncultivated الباقية حتى اليوم. فأكثر من 85 في المئة من الأنواع النباتية الأصلية في أمريكا الشمالية، على سبيل المثال، هي نباتات معمِّرة.

لاحظ <جاكسون> أن الأعشاب المعمِّرة وأزهار مروج الأعشاب الطويلة في كنساس تزداد إنتاجا سنة بعد أخرى ، وحتى أثناء ابتناء وصون الترب الغنية. إنها لم تكن بحاجة إلى أسمدة أو مبيدات آفات أو مبيدات أعشاب ضارة كي تزدهر متّقية **الآفات** pests والأمراض. لقد كانت المياه الخارجة أو الجارية في ترب المروج صافية وكانت الحياة البرِّية وافرة.

وعلى العكس، فقد رأى <جاكسون> أن حقول المحاصيل الحولية القريبة مثل الذرة الصفراء والذرة البيضاء والقمح ونباتات دوار الشمس وفول الصويا كانت تتطلب رعاية كبيرة ومكلفة كي تبقى منتجة. وبالنظر إلى أن الحوليات ذات جذور ضحلة (إذ إن معظم هذه الجذور موجود في ثلث المتر الأعلى للتربة) ولأن تلك الجذور لا تعيش إلاّ حتى الحصاد، فإن العديد من المناطق المزروعة تتعرض لمشاكل من **التعرية** erosion ونضوب خصوبة التربة وتلوث المياه. وإضافة إلى ذلك، فإن الحقول المزروعة الهادئة بشكل غريب كانت في معظمها جرداء تخلو من الحياة البرِّية. وباختصار، فقد كانت المداومة سنويا على زراعة نوع واحد من **الزراعات** monocultures في العديد من الأماكن هي المشكلة، وكان الحل





تستطيع النباتات المعمِّرة، مثل العرش الانتقالي (*في يمين الصور العليا*) الحصول على المغذيات والماء، بفضل جذورها الجيدة النمو بكميات أكبر مما تستطيعه النباتات الحولية، مثل الحنطة الشتوية (*في يسار الصور العليا*). وبدورها، تكفل الجذور المعمِّرة حياة الأحياء الدقيقة والأنشطة البيولوجية الأخرى التي تثري التربة. فالتربة الحُبَيبيَّة السمراء الناتجة (*الصورة اليمنى البعيدة*)، المأخوذة من أسفل مرج معمِّر، تحتفظ بمياه ومغذيات وافرة. أما التربة المأخوذة من حقل حولي مجاور (*الصورة اليمنى القريبة*)، فإنها أفتح لونا وذات بنية ضعيفة التماسك.

يكمن في جعبة <جاكسون>: أي المجموع الجذري المتماسك المعمر المتنوع.

لئن كانت المحاصيل الحولية إشكالية وكانت النظم البيئية الطبيعية تقدم الميزات؛ فلماذا لا يكون لأيٍّ من محاصيل حبوبنا المهمة جذور معمِّرة؟ إن الإجابة عن ذلك تكمن في **أصول الزراعة** origins of farming. فحينما بدأ أسلافنا من العصر الحجري الحديث يحصدون النباتات الحاملة للبذور بالقرب من مستوطناتهم، ربما تكون بضعة عوامل قد حدّدت سبب تحبيذهم النباتات الحولية.

لقد كان أبكر الحوليات التي تم تدجينها (وهي الحنطة النشوية والشعير البري) ذات حبوب كبيرة مفضّلة. ولضمان حصاد موثوق به في كل عام، فقد كان على المزارعين الأوائل أن يعيدوا استنبات بعض البذور التي جمعوها. ولكن خصائص النباتات البرِّية يمكن أن تختلف بشكل كبير، لذا فقد كانت تُستحسن بذور النباتات ذات **الصفات المميزة (السجايا)** traits المرغوب فيها كتلك التي تتصف بالغلّة الوفيرة **والدِّراس** threshing السهل ومقاومة **التكسُّر** shattering. وهكذا، سرعان ما أنتجت الفلاحة الفاعلة والتطبيق غير المقصود لضغط الاصطفاء (الانتخاب) التطوُّري نباتات حولية مدجنة ذات صفات محبَّبة تفوق أقرباءَها الحولية البرِّية. ومع أن بعض النباتات المعمِّرة ربما كانت تمتلك بذورا **جيدة القدّ (الحجم)** good-size، فلم تكن هناك حاجة إلى إعادة استنباتها، ومن ثم فإنها لم تخضع أو تستفد من العملية الاصطفائية ذاتها.

الجذور كحلّ(*)

وكذلك غدت الصفات المميزة للحوليات أكثر تحبيذا اليوم. فبجذورها التي تفوق المترين عمقا في العادة تقوم عشائر مجتمعات النباتات المعمِّرة بدور منظِّم حاسم في وظائف النظم البيئية، مثل إدارة المياه وتدوير النتروجين والكربون. ومع أن عليها أن تبذل الطاقة للحفاظ على النسج تحت الأرضية حيّة أثناء الشتاء، فإن الجذور المعمرة تباشر العمل عميقا داخل التربة حالما تدفأ درجات الحرارة بقدر كاف وتتاح المغذيات والماء. فحالة استعدادها المستمر تسمح لها بأن تكون عالية الإنتاج، إضافة إلى إمكان تحملها للإجهادات البيئية.

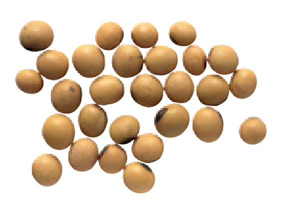
وفي دراسة للعوامل المؤثرة في تعرية التربة دامت نحو قرن من الزمن أثبتت **عشبة تيموثي** timothy grass، وهي محصول عشبي معمِّر، أنها أكثر نجاعة بنحو 54 ضعفاً في صون التربة العلوية من المحاصيل السنوية. وكذلك وثّق العلماء تخفيضاً بمقدار خمسة أضعاف في فقد الماء، وتخفيضا بنحو 35 ضعفا في فقد النترات من التربة المزروعة **بنبات الفصة** alfalfa وأعشاب معمِّرة مختلطة، مقارنة بتربة مزروعة بالذرة وفول الصويا. كما أن الأعماق الجذرية الأكبر

(*) Roots as Solution

وفصول النماء الأطول تجعل النباتات المعمِّرة تعزِّز احتجاز كربونها، الذي يمثل المكون الرئيسي للمادة العضوية في التربة، بمقدار 50 في المئة ونيِّف مقارنة بحقول المحاصيل الحولية. ولمّا كانت النباتات المعمِّرة لا تحتاج إلى إعادة استنبات كل عام، فإنها تتطلب ما هو أقل من المرات لـلآلات الزراعية وكذلك مدخلات أقل للمبيدات والأسمدة، الأمر الذي يخفِّض استخدام الوقود الأحفوري. فهذه النباتات تقلِّل بذلك كمية ثاني أكسيد الكربون في الهواء، في حين تُحسِّن خصوبة التربة.

قد تبلغ تكلفة مبيدات الأعشاب لصالح إنتاج المحاصيل الحولية ما بين 4 و8.5 ضعف تكلفة مبيدات الأعشاب لصالح إنتاج المحاصيل المعمِّرة، وبذلك فإن المدخلات الأقل مقدارا في النظم المعمِّرة تعني مصروفات نقدية أقل بالنسبة إلى المزارعين. وكذلك تستفيد الحياة البرية: فعلى سبيل المثال، تَبيَّن أن جماعات الطيور بلغت سبعة أضعافها كثافة في حقول المحاصيل المعمِّرة منها في حقول المحاصيل الحولية. ولعل الأكثر أهمية هو ما يخصّ العالم الجائع، فالنباتات المعمِّرة أقدر على الفلاحة المستدامة في الأراضي الهامشية التي تتصف بفقر نوعية تربتها أو التي ستنضب تربتها بسرعة خلال سنوات قليلة من الزراعة المكثفة للمحاصيل الحولية.

ولهذه الأسباب مجتمعة استهلّ مربّو النباتات في الولايات المتحدة وأماكن أخرى برامج بحثية وأخرى تخصّ تربية النباتات طوال السنوات الخمس الماضية لتطوير أنواع من القمح والذرة البيضاء ودوار الشمس **والعكْرش** wheatgrass الانتقالي وأنواع أخرى لتكون محاصيل حبوب معمِّرة. ولدى المقارنة بالأبحاث المكرَّسة للمحاصيل الحولية، فإن تنمية الحبوب المعمِّرة لاتزال في مرحلة الحبو. ولكن أخذ النجاحات المهمة في تربية النباتات على مدى العقدين أو العقود الثلاثة الماضية بعين الاعتبار، سيجعل من التنمية الواسعة المدى لمحاصيل الحبوب المعمِّرة ذات الغلة العالية أمرا مجديا خلال السنوات الخمس



محاصيل حبوب القمة العشر

إن حبوب محاصيل الحبوب الحولية والبقوليات الغذائية ونباتات البذور الزيتية شكّلت 80 في المئة من الحصاد العالمي لأراضي المحاصيل في عام 2004. وقد غطت أصناف الحبوب الثلاثة *المصورة أعلاه* أكثر من نصف تلك المساحة.

المحصول	النسبة المئوية لمساحة الأرض
1. حنطة	17.8
2. أرز	12.5
3. ذرة صفراء	12.2
4. فول الصويا	7.6
5. شعير	4.7
6. ذرة بيضاء	3.5
7. بذور القطن	2.9
8. بقول جافة	2.9
9. الدُّخن	2.8
10. بذور اللفت والخردل	2.2

والعشرين حتى الخمسين القادمة.

يستخدم مطوِّرو المحاصيل المعمِّرة الآن وبشكل أساسي الطريقتين نفسيهما اللتين يستخدمهما العديد من علماء الزراعة الآخرين: وهما طريقة التدجين المباشر للنباتات البرية وطريقة **تهجين** hybridization نباتات المحاصيل الحولية الموجودة مع أقاربها البرِّية. وتعد هاتان التقنيّتان متكاملتين، ولكن كل منهما تقدِّم مجموعة متميِّزة من التحدِّيات والميزات في الوقت نفسه.

التطور المدعوم(*)

يُعَدُّ التدجين المباشر للنباتات المعمِّرة البرِّية مقاربة أكثر تصويبا لتكوين محاصيل معمِّرة؛ فاستنادا إلى طرائق المشاهدة الاختبارية الزمنية واصطفاء نباتات سامية إفرادية يسعى المربّون إلى زيادة تواتر جينات تَخصُّ صفات مرغوبا فيها مثل الفصل السهل للبذور عن **الغلاف** husk والبذور ذات الحجم الكبير والنضوج المتزامن **والاستساغة** palatability والسوق القوية وغلة البذور الوافرة. وقد استجابت محاصيل عدة قائمة، مثل الذرة ودوَّار الشمس، للتدجين بهذه الطريقة بسهولة. فعلى سبيل المثال، حوّل الأمريكيون الأصليّون دوَّار الشمس البري ذا الرؤوس والبذور الصغيرة إلى دوار الشمس المألوف ذي الرؤوس والبذور الكبيرة [*انظر المؤطّر في الصفحة 90*].

تركز برامج تدجين الحبوب المعمِّرة اهتمامها حالياً على العكرش الانتقالي الذي يحمل اسم *Thinopyrum intermedium* ودوار الشمس الماكسيملياني الذي يحمل اسم *Helianthus maximiliani*، وكذلك على الذي يحمل اسم *Desmanthus illinoensis* **والكتان** flax الذي يمثل نوعاً معمِّراً من الجنس *Linum*. ومن بين هذه الأنواع ربما كان **العكرش الانتقالي** intermediate wheatgrass، وهو قريب معمر للحنطة، في أكثر المراحل تقدُّما.

ومن أجل استخدام نبات محصول حولي

(*) ASSISTED EVOLUTION

[مكاسب]

الزراعة المستدامة : الجديد مقابل الحالي(**)

تتوضّح اليوم المكاسب المحتملة لنباتات المحاصيل المعمِّرة المستقبلية، وذلك عن طريق مقارنة العكرش المعمِّر (*في الأسفل يمينا*) الذي ينمو إلى جانب الحنطة الحولية المستأنسة (*في الأسفل يسارا*). فمع أن الحنطة المعمِّرة قد تغلّ في يوم ما حبّاً يشبه حب المحصول الحولي، فإنها يمكن أن تعيش سنوات عديدة وتشبه إلى حد كبير قريبتها العكرشية تحت سطح الأرض. وقد تحول المحاصيل المعمِّرة عملية الفلاحة وتأثيراتها البيئية وذلك من خلال استخدام موارد أكثر نجاعة، وبذلك تكون أقل اعتماداً على المدخلات البشرية وأكثر إنتاجاً لمدة طويلة من الزمن. وكذلك ترْسي النباتات المعمِّرة وتدعم المنظومة البيئية التي تغذّيها، في حين أن النباتات الحولية القصيرة العمر والجذور تسمح بفقد الماء والمغذيات والتربة.



حنطة تجريبية معمِّرة

نبات معمِّر

يستهلك البناء الضوئي كربونا جويا.

بعد حصاد البذور تستطيع المواشي رعي الخضرة.

لا تشجِّع الجذور التنافسية الأعشاب الضارة فيقل استخدام مبيدات الأعشاب.

تزدهر الحياة البرِّية في ملاذ نباتي.

إعادة النمو الفصلي من الجذور أو الريزومات تطيل فترة الإنتاج.

تتصيد الجذور وتستخدم مزيدا من مياه الأمطار.

يمكن أن تتشارك أنماط محاصيل معمِّرة متنوعة في الحقل نفسه عبر امتداد جذورها في طبقات مختلفة من التربة.

تسرِّب الجذور النازلة مترين أو أكثر سكريات نباتية غنية بالكربون إلى داخل التربة بحيث تغذي كائنات حية تصنع وتؤمِّن مغذيات أخرى، ويتم احتجاز كربون إضافي داخل الجذور.

عامل كربوني(*)

إن قدرة الاحترار العالمي الكامنة ـ غازات الدفيئة التي تنبعث في الجو عبر مدخلات إنتاج المحاصيل مطروحا منها الكربون المحتجز في التربة ـ هي سالبة بالنسبة إلى المحاصيل المعمِّرة. ومن المتوقع أن تكون النباتات المعمِّرة الأكثر قدرة على استعادة حالتها الأصلية، أكثر صلاحا من النباتات الحولية في المناخ الدافىء.

الكربون المحتجز في التربة

(بالكيلوغرام لكل هكتار في السنة)

المحاصيل الحولية 0 إلى 450

المحاصيل المعمِّرة 320 إلى 1100

قدرة الاحترار العالمي الكامنة

(كيلوغرامات ثاني أكسيد الكربون المكافئة لكل هكتار في السنة)

المحاصيل الحولية 140 إلى 1140

المحاصيل المعمِّرة −1050 إلى −200

التأثير المقدَّر في المحصول لدى زيادة درجة الحرارة من 3 درجات مئوية إلى 8 درجات مئوية

(ميگاغرامات megagrams لكل هكتار)

المحاصيل الحولية −1.5 إلى 0.5 −

المحاصيل المعمرة +5

(*) CARBON FACTOR
(**) Sustainable Farming: New Vs. Now

ما موجود في تهجين مُعمِّر واسـع النطاق، فـإنَّ التزاوج القسـري بين نوعـين نباتيين مختلفين يستطيع الجمع بين أحسن صفات النبات الحولي المدجن وقريبه المعمِّر البرّي. وقـد أصبحت المحاصيـل المدجنة تمتلك مزايـا مرغوبا فيها مثـل الغلة الوافرة، في حين أن أقاربها من المحاصيل البرّية تسـتطيع الإسـهام **بتغييرات وراثية** genetic variations لصالـح صفات مثل السـلوك المُعمِّر نفسـه وكذلـك مقاومة الآفات والأمراض.

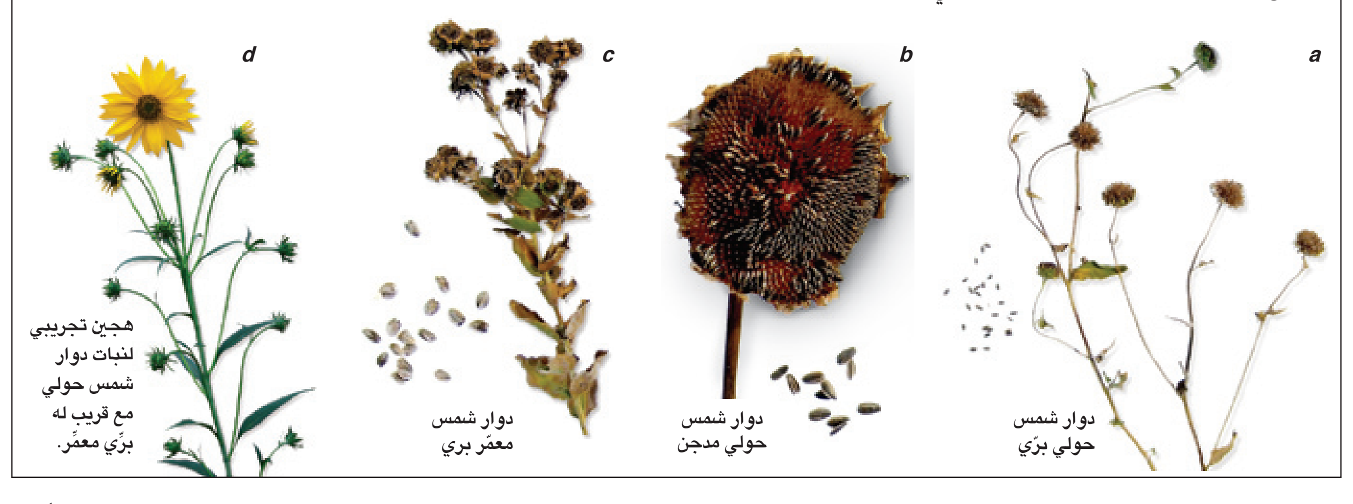
ومن بـين محاصيـل البـذور الزيتية والحبوب **المنمّاة** grown على نطاق واسـع يوجد عشرة أصناف قادرة على التهجين مع أقرباء معمِّرة حسـب قول مربي النبات <T. سـتان كوكس> [من معهد الأراضي غير الربحي في كنسـاس والذي شـارك في تأسيسه <جاكسـون> لمتابعة الزراعة المسـتدامة]. وثمة حفنة مـن برامج تربية النباتـات على امتـداد الولايـات المتحدة تتابـع حاليا مثل هذه الهجن بين **النوعية** interspecific (أي بـين الأنـواع) وبـين **الجنسـية** intergeneric (أي بين الأجناس) من أجل إيجاد نباتات قمح وحنطة نشـوية وذرة وكتـان وأزهـار دوار شـمس ذات بذور زيتيـة. وقد درس باحثون من جامعة مانيتوبا لأكثر من عقد من السنين استخدام موارد النظم المعمِّرة، وكذلك اسـتهل الآن عدد من المعاهد الكندية المشـوار الطويل لتطوير برامج حبوب معمِّرة. أما جامعة أستراليا الغربية، فقد أسَّست برنامجا للقمح المعمِّر كجزء من مركز الأبحاث التعاوني فـي ذلك البلـد للصناعات الزراعية المسـتقبلية. ويضاف إلى ذلك أن العلمـاء في معهد أبحـاث المحاصيل الغذائية فـي Kunming بالصين يواصلون بحثـا أقامه معهد أبحاث الأَرُزّ العالمي في تسعينات القرن المنصرم بغية إيجاد هجن أرزّ معمِّرة في الأراضي المرتفعة.

يعمل المربّـون في معهـد الأراضي على



تكوُّن محصول جديد(*)

لإيجــاد نباتات محاصيــل معمِّرة عاليــة المحصول، يســتطيع العلماء والمربّون تدجين نبات معمِّر برّي من أجل تحســين صفاته، أو يستطيعون تهجين نبات محصول حولي مع قريب له معمِّر برّي بغية جمع صفاتهما المفضّلــة. وتتطلب كل مــن الطريقتين إجراء تــزاوج نباتي وتحليل. وقد قضى الأمريكيون الأصليون آلاف السنين في تدجين نبات دوار الشمس الحولي البــرّي ذي البذور الصغيرة (*a*) وتحويله إلى نبات حولي عصري (*b*)، وذلك عن طريق اصطفاء واســتنبات نباتات ذات صفات مرغوب فيها مثل البــذور الكبيرة والغلال الوفيرة. وحاليا تبــذل جهود لتدجين أنواع معمِّرة برِّية من نبات دوار الشــمس (*c*) وذلك لإنتاج هجن للنباتات المعمِّرة البرِّية والنباتات الحولية الحديثة (*d*).



تدجــين نوع العِكْــرش المعمِّــر المدجن وعلى تهجــين أنــواعِ العِكْــرش المعمر الحاصلة بالتصالــب crossing assorted (ولاســيما بـــين *Th. intermedium* و *Th. ponticum* و *Th. elongatum* وبــين أنواع الحنطة الحولية).

وفي الوقــت الحاضر يجري تقصِّي 1500 من هذه الهجن وآلاف من **ذراريها** progeny بحثا عن الصفات المميزة المعمِّرة. ونشــير هنا إلى أن عمليــة تكوين هذه الهجــن هي بحد ذاتها عملية تتطلب جهدا مكثفا وزمنا طويلا. وحالما يحدِّد المربّون أنواعا مرشــحة للتهجين يكون مــن واجبهم إجــراء **تبــادلات جينيــة** gene exchanges بين هذه الأنواع المتباينة عبر تداول حبــوب اللقاح Pollen بغية إنتاج عدد كبير من التصالبــات بين النباتــات واصطفاء الذراري ذات الصفات المنشودة وتكرار دورة التصالب هذه والاصطفاء ثانية ومجدّدا.

ومع ذلــك، يعتبر التهجين مــن الناحية الممكنة وسيلة أسرع لتكوين نبات محصول معمِّر من التدجين على الرغم من كونه يتطلّب علــى الأغلب مزيداً مــن التقانة للتغلب على عدم التوافق بين **النباتــات الوالدية** parent plants. فالبــذور المتولِّدة عبر تصالب نوعين بعيدي القرابة، على ســبيل المثال، كثيراً ما تموت قبــل اكتمال نمائها. ويمكن إنقاذ مثل هذه العيِّنة وهي في حالة الجنين عبر إنمائها في وسط صنعي إلى أن تولد قلة من الجذور والأوراق ثم نقل **الشــتلة** seedling إلى تربة تستطيع النمو فيها مثل أي نبات آخر، ولكن حين يبلغ هذا الهجين المرحلة التكاثرية، فإن شذوذاته الوراثية كثيرا ما تظهر على شكل عجز في إنتاج البذور.

يتأتّى الهجين العقيم جزئيا أو كليا بوجه عــام من **صبغيــات والديــة غيــر متوافقة** incompatible parental chromosomes داخل خلايــاه. فإنتاج البيــوض أو حبوب اللقاح يتطلــب وجوب اصطفــاف الصبغيات أثناء الانقســام الانتصافي (وهــي العملية التي تنصِّف بهــا الخلايا الجنســية صبغياتها اســتعدادا للتزاوج **بمشيــج** gamete آخر) وتبادل المعلومات الوراثية بين المشيجين. فإذا لم تســتطع **الصبغيات (الكروموسومات)** chromosomes العثــور علــى نظائرها، لأن كل نســخة **والدية** parental version تختلف كثيــرا عن الأخرى، أو لأنهــا تختلف عددا،

(*) CREATING A NEW CROP

صبغيات نبات حنطة معمِّر هجين تجريبي جرى وسمها بواسطة الفَلْورة للكشف عما إذا كانت نشأت مع الوالد العكرشي الهجين (*بالأخضر*) أم مع الوالد الحنطوي (*بالأحمر*). وتساعد هذه التقنية على تحديد هوية التألفة الصبغية المرغوب combination فيها، وتلقي الضوء على الشذوذات كالصبغيات المندمجة (*الأسهم*).





قد تتطلّب تربية نباتات هجينة استخراج جنين من المبيض (*في اليسار*). وفي هذه الصورة، يجمع أحد الباحثين رؤوس الذرة البيضاء **sorghum** الحولية لجمع حبوب اللقاح، وفي خلفية هذه الصورة ذرة بيضاء معمَّرة طويلة (*في اليمين*).

فإن انسجام مسار الإنقسام الانتصافي يتشوش. ويمكن التغلُّب على هذه المشكلة بأساليب قليلة. ربما أن الهُجُنَ العقيمة لا تقوى عادة على إنتاج أمشاج ذكرية بل تكون خصبة جزئيا بالأمشاج الأنثوية، فإن **تأبيرها** pollinating بأحد الوالدين الأصليين (وهو ما يعرف بالتزاوج التبادلي أو التزاوج المتصالب الرجعي) يمكن أن يستعيد الخصوبة. وثمة استراتيجية أخرى تتمثل بمضاعفة عدد الصبغيات إما تلقائيا أو عبر إضافة كيميائيات مثل الكولشيسين. وعلى الرغم من أن كلتا الطريقتين تسمح للصبغي **بالازدواج** pairing، فإن إزالةً للصبغيات تحدث لاحقا في كل جيل على الأغلب وذلك في هجن القمح المعمِّر، ولاسيما للصبغيات الموروثة من الوالدين المعمرين.

وبسبب **التجمعات الجينية** gene pools المتحدِّية التي يكونها التهجين الواسع حين تحديد الهجناء المعمِّرة الخصبة، فإن تقنيات التقانة الحيوية هي التي تستطيع أن تكشف أي الوالدين اللذين قدَّما أجزاء **جينوم** genomeالذرية يكون نافعا. وإحدى هذه التقنيات، وهو **جينوميّ في التهجين بالمختبر** genomic in situ hybridization على سبيل المثال، تميز صبغيات الوالد المعمِّر من صبغيات الوالد الحولي عن طريق **الفَلْورة** fluorescence، كما تكشف عن الشذوذات الصبغية مثل **إعادة الانتظام البنيوي** structural rearrangements بين الصبغيات غير ذات القرابة [*انظر الشكل في أسفل الصفحة 90*]. ويمكن لمثل هذه الأدوات التحليلية أن تساعد على تسريع برنامج التربية حالما يكتشف المربون توليفات صبغية مرغوبا فيها أو غير مرغوب فيها، وذلك من دون تهديد إمكانية استخدام الحبوب المعمِّرة في الزراعة العضوية حيث لا يسمح فيها باستخدام المحاصيل المهندسة وراثيا.

هناك طريقة أخرى قيِّمة لتسريع وتحسين تربية النباتات التقليدية تعرف باسم **الاصطفاء المدعوم بالواسم** marker- assisted selection. **فالتتاليات الدناوية** DNA sequences المصحوبة بصفات مميزة نوعية يمكن أن تفيد **كواسمات** markers تتيح للمربين تقصِّي التصالبات التي تعطي غرسات من أجل ميزات مرغوب فيها من دون أن يكون عليهم انتظار نمو النباتات حتى النضج [*انظر: «عودة إلى مستقبل محاصيل الحبوب»*، **العلوم**، العددان 4/3 (2005)، ص 50]. وفي الوقت الحاضر، لم تنشأ أي واسمات نوعية لتربية نبات معمِّر على الرغم من كون الأمر هو مجرد عامل زمن. فالعلماء في جامعة واشنطن، على سبيل المثال، حددوا أن **الصبغي** 4E في **العِرْش المسمى**

Th.elongatum ضروري لصفات معمِّرة مهمة لإعادة النمو التي تلي دورة التناسل الجنسي. ولسوف يكشف تضييق **المنطقة** 4E إلى مستوى الجين أو الجينات التي تولِّد هذه الصفة عن الواسمات ذات الصلة التي ستوفِّر على المربين سنة من زمن التربية في تقييم الهجن.

يعدُّ **تعمير النبات** perennialism مسلكا شائكا يتخطى الصفة الواحدة إذا تجاوزنا ذكر الجين الواحد. وبسبب هذا التعقيد، فإن **التحوير المنقول الجين** transgenic (بمعنى إدخال دنا غريب) لايحتمل أن يكون مفيداً في تطوير حبوب معمرة من الناحية المبدئية على الأقل. وفي هذا السياق، قد يكون للتقانة المنقولة الجينية دور في تنقية الصفات المميزة الموروثة. فمثلا، إذا نجح تطوير عكرش معمِّر مدجن مع بقائه مفتقرا إلى **التوليفة** combination الصحيحة لجينات بروتين الگلوتين الضروري لصناعة خبز عالي الجودة، فإنه من الممكن إدخال جينات گلوتين مأخوذة من حنطة حولية إلى داخل هذا النبات المعمِّر.

موازنات واستحقاقات(*)

على الرغم من توافر محاصيل معمِّرة مثل الفصة وقصب السكر، فليس منها واحد ذو إنتاج من البذور يضارع إنتاج بذور محاصيل الحبوب الحولية. فلأوّل وهلة قد تبدو فكرة كون النباتات تستطيع في آن معا أن توجه موارد البلد صوب بناء مجموعات جذرية معمِّرة والحفاظ عليها من جهة، وكذلك إنتاج غلال وافرة من حبوب مستساغة من جهة أخرى **فكرة غير بدهية** counterintuitive، فالكربون الذي يتم احتجازه عبر عملية البناء الضوئي يُعَدُّ لبنة البناء الرئيسية للنبات ويجب أن يوزَّع بين أجزاء النبات المختلفة.

غالبا مايركِّز مَنْ ينتقدون فكرة كون النباتات المعمِّرة تستطيع أن تُعْطي غلالا كبيرة من البذور على استحقاقات تفترض أن كمية الكربون المتاحة للنبات تكون **ثابتة** fixed، وأن الكربون المخصَّص للبذور يأتي لذلك على حساب أعضاء معمِّرة مثل الجذور والريزومات، وكذلك يغفل المشككون على الأغلب فكرة كون **آماد** spans حياة النباتات المعمرة تمتد حسب طيف معيَّن. فبعض نباتات المروج المعمِّرة يمكن أن تدوم مابين 60 و 100 سنة، في حين لاتعيش نباتات أخرى إلا سنوات قليلة. ولحسن حظ المربين، تُعد النباتات كائنات حية مرنة نسبيا، بمعنى أنها تستجيب لضغوط الاصطفاء بحيث تقوى على تغيير حجوم مكتنزها الإجمالي من الكربون حسب الظروف البيئية وتغيير حصص شرائح مكتنزها هذا.

وقد يعيش نوع ما برِّيٌّ معمِّر افتراضي عشرين سنة في البيئة الطبيعية ذات المنافسة العالية، ولاينتج إلا كميّات صغيرة من البذور في أي سنة من السنين. وهنا يكون مكتنزه الكربوني صغيرا ينصرف الكثير منه لمقاومة الآفات والأمراض، منافسا على موارد قليلة ليبقى في ظروف متباينة. فعندما يأخذ المربون هذه العينة البرِّية خارج أجوائها الطبيعية المحددة الموارد ويضعونها في بيئة مهيّأة لتلافي السلبيات، فإن مكتنزها الإجمالي من الكربون يزداد فجأة بحيث يعطي نباتا أكبر.

وكذلك يستطيع المربون مع مرور الزمن تغيير الحصص الكربونية داخل ذلك المكتنز الذي تزايد كبرا. فقد ضاعفت الثورةُ الخضراء لتربية الحبوب حين تزامنت مع الاستخدام المتزايد للأسمدة غلالَ العديد من محاصيل الحبوب الحولية إلى ما يزيد على الضعف، وتحققت تلك الزيادات في النباتات التي لم تكن تمتلك **بنى تعميرية** perennating structures تضحِّي بها. وقد ظفر المربون بجزء من تلك التوسُّعات المهمة للغلال في المحاصيل الحولية عبر اصطفاء النباتات التي تُنتج كتلة من السوق والأوراق أقل مقدارا، وبذلك توجه حصصها من الكربون نحو إنتاج البذور.

وعلى نحو مشابه يمكن زيادة المحصول

(*) Trade-offs and Payoffs

المؤلفون

Jerry D. Glover - Cindy M. cox - John P. Reganold

*<**گلوڤر**> إيكولوجي زراعي ومدير أبحاث الخريجين في معهد الأراضي في سالينا بولاية كنساس، وهذا المعهد مؤسسة غير ربحية مكرَّسة للتعليم والبحث في الزراعة المستدامة.*

*<**كوكس**> اختصاصي بأمراض النبات وباحث في الوراثة في برنامج تربية النبات التابع لمعهد الأراضي.*

*<**رگانولد**> أستاذ كرسي ريگنت لعلوم التربة في جامعة واشنطن، متخصص بالزراعة المستدامة.*

من دون إزالة الأعضاء والبنى المطلوبة لتجاوز الشتاء في المحاصيل المعمِّرة للحبوب. وفي الواقـع، يقدم العديد مـن النباتات المعمِّرة، التي تكـون أكبر على العمـوم من النباتات الحولية، إمكانية أوفـر تتيح للمربين توجيه النمـو الخضري نحو إنتـاج البذور. وأكثر من ذلك، فمن أجل نجاح محصول معمر ما للحبوب في تلبية الاحتياجات البشـرية فإن ذلك المحصول قد يحتـاج إلى أن يعيش ما بين خمس إلى عشر سنوات فقط.

وبكلمـات أخرى، فإن النبات المعمِّر ليس من الضروري أن يهيّأ لغرض الإعداد بالذات لموقـع زراعـي، إذ إن الكثير مـن الكربون المخصَّـص لآليات بقـاء النبـات على قيد الحياة، مثل تلك المخصَّصة لتحمُّل مواسـم الجفاف المتكررة، يمكن أن يعاد تخصيصه لحساب إنتاج البذور (حفاظا على بقاء ذلك النبات حيا بسبب الجفاف).

مزارع أكثر اخضرارا(*)

وهكـذا، نسـتطيع البدء بتخيُّـل يوم بعد خمسـين سنة من الآن يسـير فيه المزارعون للنزهـة عبـر حقـول محاصيلهـم المعمرة للحبوب. وستعمل هذه الأراضي على شاكلة مروج كنسـاس التي يُتنزَّه فيها وتنتج الغذاء أيضا. وتحت سطح الأرض، يمكن أن تتعايش أنمـاط مختلفة من الجـذور المعمِّرة، بعضها يشـبه **الجذور الوتدية (الجنـوث)** taproots الخاصـة بالفصة وغيرها كتلك التي تشـبه التشابك الكيفي الثخين لجذور العكرش، بغية الاسـتفادة من طبقات التربة المختلفة. ونشير هنـا إلى إمكانية زراعـة المحاصيل التي لها عادات نمو فصلي متعاقب، مع بعضها بعضا بغية توسيع فصل الإنماء الإجمالي. هذا، وإن مدخلات أقـل و**تنوعا حيويـا** biodiversity أكبـر قـد يفيـدان بدورهما كلا مـن البيئة **والنتيجة الأخيرة** bottom line للمزارع.

تتغيّـر الشـروط العالميـة الزراعيـة والإيكولوجيـة والاقتصاديـة، علـى نحو سـريع وبطرق يمكن أن تعزِّز مسـاعي تكويـن المحاصيل المعمِّرة. فمثلا، في حين يزيد الضغط على الولايات المتحدة وأوروبا لقطـع أو منع معونات المـزارع التي تدعم بشكل أساسـي نظم المحاصيل الحولية، فإنه من الممكن زيادة تمويل أبحاث النباتات المعمِّرة. وفي حين ترتفـع أسـعار الطاقة وتكاليف **التدهـور البيئي** environmental degradation بشكل متزايد، فإن تخصيص أموال عامة في الموازنة لصالح مشـاريع طويلة الأجل تهدف إلى تخفيض استهلاك الموارد واسـتنزاف الأراضي يصبح أكثر شعبية من الناحية السياسية.

وبالنظـر إلى كون المـدة الزمنية الطويلة لإطـلاق المحاصيـل المعمـرة للحبـوب لا تشـجعٍّ الاسـتثمار المالي في هـذا الوقت، فهناك حاجة إلى تمويـل حكومي أو خيري من القدر الكبيـر لتجميع جماعة حدِّيَّة من العلماء وبرامج الأبحاث. ومع أن الشـركات التجاريـة قد لا تحقِّق مكاسـب مالية كبيرة من خلال بيع الأسـمدة ومبيدات الحشرات للمزارعين المنتجين للحبوب المعمِّرة، فإن هذه الشركات يحتمل أن تتكيف على الأغلب مع هذه المحاصيـل الجديدة من خلال منتجات وخدمات جديدة.

ومما لاشك فيه أن إنتاج الحبوب الحولية سـيظلّ مهما للخمسين سنة القادمة، فبعض المحاصيـل مثل فول الصويـا، ربما يصعب تعميرهـا، والنباتات المعمِّرة لن تحل بشـكل كامـل مشـكلات مثل الأمراض والأعشـاب الضارة وفَقْد خصوبة التربة. بيد أن الجذور العميقـة تعني المطاوعة والقـدرة على العودة إلى الوضع الذي كانت عليه بعد **زوال المانع** resilience . إن تأسـيس جـذور زراعة مبنيّة على محاصيل معمِّرة الآن سـيمنح مزارعي المستقبل مزيدا من الخيارات حول ما يمكنهم إنماءَه وفي أي مكان، في حين أنهم منخرطون في إنتاج الغذاء باستدامة من دون كلل لسكان عالم يتزايدون بسرعة. ■

(*) Greener Farms

مراجع للاستزادة

Perennial Grain Crops: An Agricultural Revolution. Edited by Jerry D. Glover and William Wilhelm. Special issue of *Renewable Agriculture and Food Systems,* Vol. 20, No. 1; March 2005.

Wes Jackson (35 Who Made a Difference). Craig Canine in special anniversary issue of *Smithsonian,* Vol. 36, No. 8, pages 81–82; November 2005.

Prospects for Developing Perennial Grain Crops. Thomas S. Cox, Jerry D. Glover, David L. Van Tassel, Cindy M. Cox and Lee D. DeHaan in *BioScience,* Vol. 56, No. 8, pages 649–659; August 2006.

Sustainable Development of the Agricultural Bio-Economy. Nicholas Jordan et al. in *Science,* Vol. 316, pages 1570–1571; June 15, 2007.

The Land Institute: www.landinstitute.org

Scientific American, August 2007

فطْر سحري(*)

عرفت الفطريات المخدرة منذ آلاف السنين بإطلاقها العنان لخبرات **ميستكية**(1) mystical. وقد أثبتت أكثر التجارب العلمية دقة على **المهلوسات** hallucinogens، والأولى من نوعها خلال أربعين عاما، إمكانية استحداث حالات ميستكية آمنة مختبريا. ففي جامعة جونز هوبكنز، اختار العلماء 36 متطوعا من النشطاء الروحانيين(2) ممن يمكنهم شرح وتفسير هذه الخبرات بالصورة المثلى، واستبعدوا الحالات التي يشكّل أصحابها خطرا شخصيا أو عائليا (موروثا) للإصابة بالجنون أو الاعتلال العقلي. وقد وصف ثلث عدد المتطوعين الذين أعطوا مادة **البسيلوسايبين** psilocybin، وهي المادة الفعالة في الفطر، بأنها الخبرة الروحية الأكثر تأثيرا في حياتهم؛ ووضعها ثلثا عدد المتطوعين ضمن أفضل خمس خبرات في حياتهم. ومع ذلك، ظهرت بعض الآثار الجانبية: أقر ثلث عدد المتطوعين بالشعور بخوف حقيقي خلال الساعات الأولى التي أعقبت تناولهم الجرعة، وانتاب بعضهم الآخر شعور **بارانويا**(3) مؤقتا. وبعد مضي شهرين على تناول الجرعة، أبلغ نحو 79% من المتطوعين عن حدوث تحسن معتدل أو كبير في شعورهم بالارتياح أو الرضا بالحياة مقارنة بأولئك الذين أعطوا دواء مهدئا. وقد تؤدي الأبحاث اللاحقة إلى علاج الألم أو الكآبة أو الإدمان بالاعتماد على هذا الفطر، وذلك حسب تعليقات الخبراء التي تلقتها مجلة عقاقير العلاج النفسي *Psychopharmacology*. ■

<Q. Ch. تشوي>



إن تناول الفطريات المناسبة من قبل الشخص المناسب قد يمنحه خبرة ميستكية تؤدي إلى شعور مستديم بحسن الحال.

(*) Magical Mushroom Tour

(1) تعريب لـ mystical، وهي صفة الخبرات الروحية التي لا يدرك العقل كنهها.

(2) spiritually active

(3) تعريب لـ paranoia أو: ذُهان – جنون الاضطهاد أو العظمة. (التحرير)




Majallat AlOloom
March / April - 2010 Volume 26 Number 3/4
SCIENTIFIC AMERICAN

SCIENTIFIC AMERICAN®
Established 1845

Letters to the Editor

Scientific American
75 Varick Street, 9th Floor,
New York, NY 10013-1917
or editors@SciAm.com

Letters may be edited for length and clarity. We regret that we cannot answer each one. Post a comment on any article instantly at www.ScientificAmerican.com/sciammag